

*Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje*



*Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu*



*Milan Opalić
Milan Kljajin
Slavko Sebastijanović*

TEHNIČKO CRTANJE

Sveučilišni udžbenik

Zagreb/Slavonski Brod, 2002.

UDŽBENICI SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM ZAGRABIENSIS

UDŽBENICI SVEUČILIŠTA JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM ESSEKINI

Recenzenti:

prof.dr.sc. Jože Flašker, SF Maribor

prof.dr.sc. Gordana Marunić, TF Rijeka

prof.dr.sc. Sanjin Mahović, FSB Zagreb

Nakladnik: ZRINSKI d.d., Čakovec

Za nakladnika:

Odluka Senata Sveučilišta u Zagrebu broj: 02-1834/3-2002. od 15. listopada 2002.

Odluka Senata Sveučilišta u Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku klasa: 612-10/02-01/16 i
ur. broj: 2158-60-01-02-02 od 21. listopada 2002.

Udžbenik

CIP – Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Zagreb

UDK

OPALIĆ, Milan; KLJAJIN, Milan; SEBASTIJANOVIĆ, Slavko
Tehničko crtanje/Milan Opalić, Milan Kljajin, Slavko Sebastijanović

.....

ISBN

Lektor: Višnja Milaković, prof.

Obrada crteža i teksta: prof.dr.sc. Milan Kljajin

Design & Typesetting: INTES, Slavonski Brod

Tisak: ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada: 1000

Niti jedan dio ovog udžbenika ne smije se preskikavati niti umnožavati na bilo koji način,
bez pismenog dopuštenja nakladnika te sva tri autora.

Sadržaj

1.	Predgovor	5
	Preface	
2.	Uvod	7
	Introduction	
2.1.	Općenito o crtanju i crtežu	7
2.2.	Tehničko crtanje u strojarstvu	7
2.3.	Vrste tehničkih crteža u strojarstvu	12
3.	Normizacija	19
	Standardization	
3.1.	Razvoj normizacije, značenje i pojmovi	19
3.2.	Nacionalne norme	24
3.3.	Normizacija u Republici Hrvatskoj	24
3.4.	Međunarodna i regionalna (europska) normizacija	27
3.5.	Normizacija u strojarstvu	29
3.5.1.	Normni brojevi – nizovi normnih brojeva	31
3.5.2.	Uporaba normnih brojeva i nizova normnih brojeva	35
4.	Tolerancije, dosjedi i tekstura (hrapavost) površina	39
	Tolerances, Fits and Surface Texture	
4.1.	Općenito o tolerancijama	39
4.2.	Osnovni pojmovi	39
4.3.	Osnove ISO-sustava tolerancija duljinskih izmjera	44
4.3.1.	Položaj i označavanje tolerancijskih polja	47
4.3.2.	Preporuke za izbor tolerancijskih polja	55
4.4.	Tolerancije slobodnih izmjera – opće tolerancije	56
4.5.	Složene tolerancije	60
4.6.	Dosjedi	61
4.6.1.	Dosjedni sustavi	61
4.6.2.	Vrste, označavanje i pregled dosjeda	62
4.6.3.	Izbor tolerancija i dosjeda	64
4.7.	Učestalost stvarnih izmjera i dosjeda	73
4.8.	Označavanje tolerancija duljinskih izmjera na tehničkim crtežima	77
4.9.	Tolerancije u funkciji temperature	80
4.10.	Tolerancija oblika, orijentacije, smještaja i vrtnje	82
4.11.	Tekstura (hrapavost) tehničkih površina	93
4.11.1.	Važnost stanja tehničkih površina	93
4.11.2.	Osnovni pojmovi	93
4.11.3.	Označavanje hrapavosti tehničkih površina na tehničkim crtežima	98
4.11.4.	Primjena oznaka hrapavosti na crtežima i drugoj tehničkoj dokumentaciji	104
4.11.5.	Odnos između tolerancije i hrapavosti	108
5.	Crtanje geometrijskih i strojarskih kontura	111
	Drawing of Geometrical and Mechanical Contours	
5.1.	Crtanje okomice na zadani pravac	111

Sadržaj

5.2.	Crtanje pravca paralelnog sa zadanim pravcem	112
5.3.	Podjela i konstruiranje kutova	113
5.4.	Crtanje kružnice ako su poznate tri nekolinearne točke	114
5.5.	Crtanje upisane kružnice	114
5.6.	Urađnjivanje (rektifikacija) kružnice	115
5.7.	Podjela zadane duljine na jednake dijelove	116
5.8.	Crtanje tangenata na kružnicu	117
5.9.	Crtanje zajedničkih tangenata na dvije kružnice	118
5.10.	Crtanje jednakokračnog trokuta	119
5.11.	Crtanje kvadrata	119
5.12.	Crtanje pravilnih mnogokuta	120
5.12.1.	Crtanje pravilnog peterokuta	120
5.12.2.	Crtanje pravilnog šesterokuta	121
5.12.3.	Crtanje pravilnog sedmerokuta	122
5.12.4.	Crtanje pravilnog osmerokuta	124
5.12.5.	Crtanje pravilnog deseterokuta	125
5.12.6.	Crtanje pravilnog dvanaesterokuta	125
5.12.7.	Crtanje pravilnog mnogokuta	126
5.13.	Crtanje zaobljenja	127
5.14.	Spajanje paralelnih pravaca pomoću dva kružna luka	128
5.15.	Spajanje pravca i kružnog luka zadanog polumjera pomoću drugog kružnog luka	129
5.16.	Spajanje kružnih lukova	129
5.17.	Prikazivanje proizvoljnih krivulja dijelovima pravaca i kružnih lukova	132
5.18.	Pravilne krivulje	132
5.18.1.	Oval (Cassinijev oval)	132
5.18.2.	Ovoid	133
5.19.	Krivulje koje se crtaju pomoću krivuljara	134
5.19.1.	Crtanje krivulje pomoću krivuljara	134
5.19.2.	Presječne krivulje rotacijskog stošca	135
5.19.3.	Crtanje cikličkih krivulja (ruleta)	143
5.19.4.	Spirale	147
5.19.5.	Trigonometrijske krivulje	149
5.19.6.	Zavojnice	150
6.	Predočavanje oblika s osnovama nacrtne geometrije	153
	Presentation of Forms with Bases of Descriptive Geometry	
6.1.	Općenito o vrstama i značajkama projiciranja	153
6.2.	Perspektiva	156
6.3.	Aksonometrijska projekcija	163
6.3.1.	Kosa aksonometrija	163
6.3.2.	Ortogonalna aksonometrija	164
6.4.	O ortogonalnoj projekciji	168

6.4.1.	Osnovna pravila ortogonalnog projiciranja	168
6.4.2.	Projiciranje na jednu ravninu	169
6.4.3.	Projiciranje na dvije ravnine	172
6.4.4.	Projiciranje na tri ravnine	173
6.4.5.	Smjerovi pogleda, nazivi i analiza projekcija	179
6.4.6.	Dimenzije i središnjice predmeta	184
6.4.7.	Metode projiciranja 1. i 3. kvadranta	188
6.5.	Osnovna pravila za predočavanje oblika	191
6.5.1.	Položaj u kojemu se predmet crta	191
6.5.2.	Izbor i broj projekcija	192
6.5.3.	Zamišljeno rastavljanje predmeta na temeljne oblike tijela	195
6.6.	Presjeci	197
6.6.1.	Crtanje presjeka	197
6.6.2.	Označavanje presjeka	209
6.6.3.	Pravila za crtanje presjeka	212
6.7.	Posebna pravila i pojednostavnjenja u predočavanju oblika	217
6.7.1.	Posebne i djelomične projekcije	217
6.7.2.	Zakrenute projekcije i zakretanje u ravninu crtanja	221
6.7.3.	Razvijeno stanje	223
6.7.4.	Prekidi - crte loma	224
6.7.5.	Označavanje ravnih ploha	226
6.7.6.	Pojednostavnjenja	227
6.8.	Presjeci, prodori i razvijanje plašteva geometrijskih tijela	229
6.8.1.	Presjeci	229
6.8.2.	Prodori	236
6.8.3.	Razvijanje plašteva geometrijskih tijela	254
7.	Posebnosti u tehničkom crtanju Particularities in Technical Drawing	285
7.1.	Pribor i pomagala za tehničko crtanje	285
7.2.	Formati i organizacija tehničkih crteža	299
7.3.	Zaglavlja i sastavnice	305
7.4.	Mjerila	310
7.5.	Vrste crta i njihova primjena	311
7.6.	Tehničko pismo	319
8.	Tehničko prostoručno skiciranje Free-hand Sketching	323
8.1.	Osnovne značajke skiciranja	323
8.2.	Postupak pri prostoručnom skiciranju	333
8.3.	Skiciranje prostornih crteža	341
9.	Kotiranje Dimensioning	347
9.1.	Opća načela	347
9.2.	Pravila za primjenu	348

Sadržaj

9.3.	Elementi kotiranja i njihova primjena	349
9.3.1.	Pomoćne mjerne crte, mjernice i glavne crte	349
9.3.2.	Završeci mjernica i oznake početka kotiranja	350
9.3.3.	Prikazivanje vrijednosti dimenzija na crtežima	352
9.4.	Načini kotiranja	355
9.4.1.	Lančano kotiranje	355
9.4.2.	Kotiranje od zajedničke osnove	355
9.4.3.	Kotiranje pomoću koordinata	356
9.4.4.	Kombinirano kotiranje	357
9.5.	Posebno označavanje	358
9.5.1.	Tetive, lukovi, kutovi i polumjeri	358
9.5.2.	Ekvidistantne crte (značajke)	358
9.5.3.	Ponovljene značajke	360
9.5.4.	Skošeni rubovi i upušteni rubovi provrta i rupa	360
9.6.	Ostale oznake	361
9.7.	Kotiranje konusa, suženja i nagiba	364
10.	Računalom poduprijet sustav za crtanje	369
	Computer-aided Drawing System	
10.1.	Postavljanje parametara crteža	370
10.1.1.	Jedinice	370
10.1.2.	Veličina (granice) crteža	370
10.1.3.	Slojevi ili razine	372
10.1.4.	Koordinatna mreža i hvatanje	373
10.2.	Osnovne funkcije crtanja	373
10.2.1.	Ravna crta	373
10.2.2.	Kružnica i kružni luk	374
10.2.3.	Zakrivljena crta (spline)	375
10.2.4.	Brisanje (deleting)	375
10.2.5.	Zaobljavanje i zarubljivanje (filleting i chamfering)	375
10.2.6.	Iscrtavanje ili šrafitiranje (hatching)	376
10.2.7.	Funkcije za opisivanje crteža	377
11.	Pojednostavnjenja i simboli	379
	Simplifications and Symbols	
11.1.	Pojednostavnjenja	379
11.2.	Simboli	384
12.	Literatura	409
	References	
	Popis korisnih normi u tehničkom crtanju	411
	List of Useful Norms in the Technical Drawing	
	Neka pravila pisanja oznaka u tehnici i znanosti	414
	Some of the Writing Rules of Characteristics in Technology and Science	
	Kazalo pojmova	415
	Index	

1. Predgovor

Preface

Tehničko je crtanje sredstvo komuniciranja u tehnici i daje osnove za daljnje korake u procesu konstruiranja, definiranja tehnologije, proizvodnje, funkcije, montaže te analize gibanja. Cilj izučavanja ove discipline je omogućiti budućem inženjeru tehnike stjecanje znanja koja će mu pomoći osmisliti, čitati, razumjeti i obrađivati bilo koju vrstu crteža.

Tehnički crtež jednoznačna je i potpuna informacija o nekom proizvodu. Na tehničkim crtežima proizvodi su prikazani sukladno određenim pravilima, odnosno normama važećim za tehničko crtanje.

Kao i u predračunalno doba, i danas su uloga i smisao tehničkog crtanja korisniku sustava računalom podržanog oblikovanja ili crtanja¹ pružiti tradicionalna znanja iz ovog područja, odnosno razviti mu smisao za vezu dvodimenzijskog i trodimenzijskog prikaza sa stvarnim predloškom te korisnika upoznati s nizom konvencija ili normi karakterističnih za tehničko crtanje. U budućnosti će se, naravno, uloga tehničkog crtanja još više mijenjati jer će se razvojem računalne grafike i njezinim spajanjem sa sustavima računalom podržane proizvodnje² potreba za tehničkim crtežom u obliku tzv. "tvrde kopije"³ smanjiti, no tehnički crtež uvijek će ostati osnova za sve spomenute aktivnosti.

Gradivo u ovom udžbeniku pokušali smo izložiti metodički. Gdje je to bilo moguće, teorijske su postavke vezane za konkretne strojne dijelove tako da čitatelj odmah može vidjeti svrhu izučavanja pojma ili vještine.

Udžbenik daje i osnove nacrtne geometrije bez težnje da zamijeni ovu disciplinu, čije je poznavanje nužno za praćenje materije koja se izlaže. Nacrtna geometrija ovdje ima samo ulogu podsjetnika.

Nadamo se da smo ovim udžbenikom popunili određenu prazninu u nedostatku udžbenika ovog profila. Udžbenik je namijenjen studentima tehničkih studija, prije svega studentima strojarskih studija, ali i učenicima srednjih škola tehničke struke te svima koji se praktično koriste ili izrađuju tehničke crteže.

Zagreb/Slavonski Brod, kolovoza 2002.

Autori

¹ CAD - sustava

² CAM - sustavima

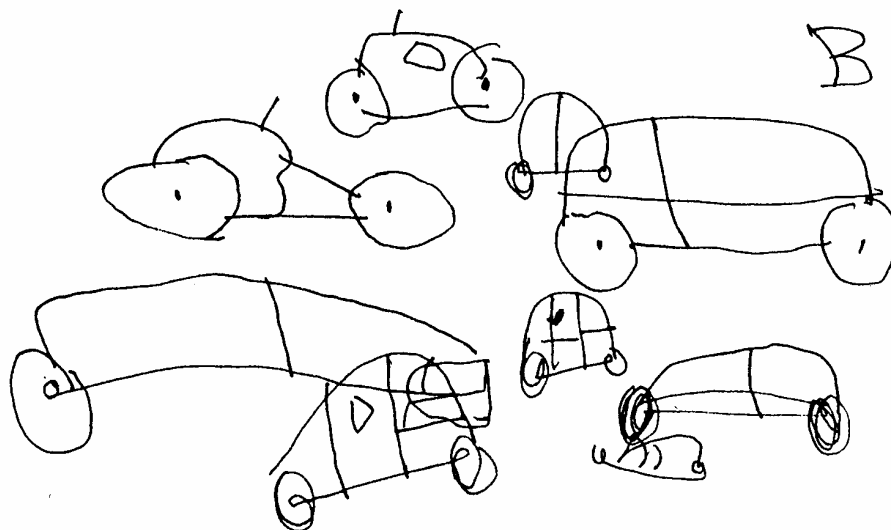
³ hard copy

2. Uvod

Introduction

2.1. Općenito o crtanju i crtežu

Crtanje¹ je, kao i crtež (proizvod ove radnje), vrlo široko područje grafičkog izražavanja, počevši od dječjeg šaranja (risanja) (slika 2.1.), izrada šara kao ukrasa, raznih umjetničkih crteža i ilustracija (slike 2.2., 2.3., 2.4. i 2.5.), bilježaka i studija istraživača i znanstvenika, tehničkih crteža, koji su opet vrlo raznovrsni u svezi s tehnikom, pristupom i sadržajem [1] (npr. tehnički crteži u strojarstvu, elektrotehnici, građevinarstvu, arhitekturi, kartografiji itd.) (slika 2.6.), pa do crteža dobivenih podrškom računala (CAD – Computer Aided Design) (slike 2.7., 2.8. i 2.9.), odnosno računalne grafike.



Slika 2.1. Crteži (šaranja) djeteta u dobi između treće i četvrte godine [18]

2.2. Tehničko crtanje u strojarstvu

Kao i u nizu drugih znanstvenih polja u području tehnike, tako i u strojarstvu nije moguće prikazivanje, shvaćanje, provođenje ili čuvanje od zaborava različitih tehničkih ideja ili rješenja bez uporabe tehničkog crteža. Analizom povijesti dolazi se do spoznaje da su prvi izumitelji alata, uređaja ili strojeva istodobno bili i konstruktori i graditelji. Oni su također upotrebljavali crtež ili skicu kao način prikazivanja i objašnjavanja funkcije izuma, odnosno kao predložak za njihovu izradu.

Razina tehničke opremljenosti i sadržaja prvih skica i crteža bili su daleko ispod razine tehničke opremljenosti i sadržaja skica i crteža koje poznaje suvremeno tehničko crtanje u strojarstvu. Tadašnje skice i crteži nisu nastajali kao rezultat primjene unaprijed utvrđenih pravila i zakonitosti tehničkog crtanja, već

¹ Crtanje ili risanje – daljnje u tekstu koristit će se riječ “crtanje”.

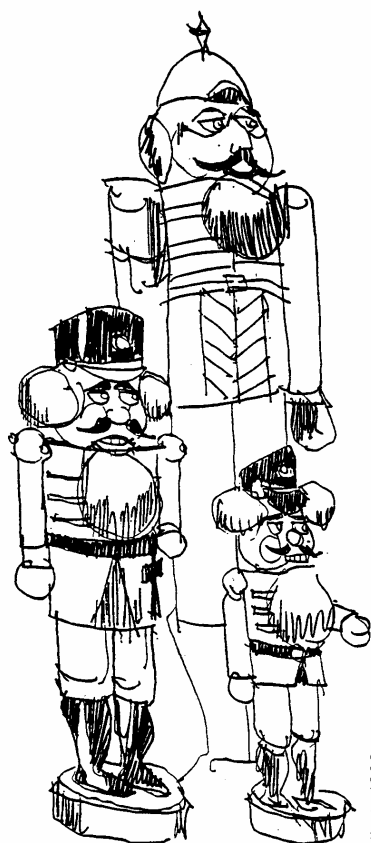
kao rezultat primjene osobnih pravila autora (slike 2.10., 2.11. i 2.12.).



Slika 2.2. Grčka prelja s vretenom i preslicom. Crtež na grčkoj vazi iz 5. stoljeća prije nove ere [20]



Slika 2.3. Grčka tkalja odmara se uz tkalački stan. Crtež Telemaha i Penelope na grčkoj vazi iz Chiusa [20]



Kijajin, 1982.



Slika 2.4. Crtež ("Pripremanje pića") i ukrasne šare na antičkoj vazi oko 510. – 500. prije nove ere [20] (gore)

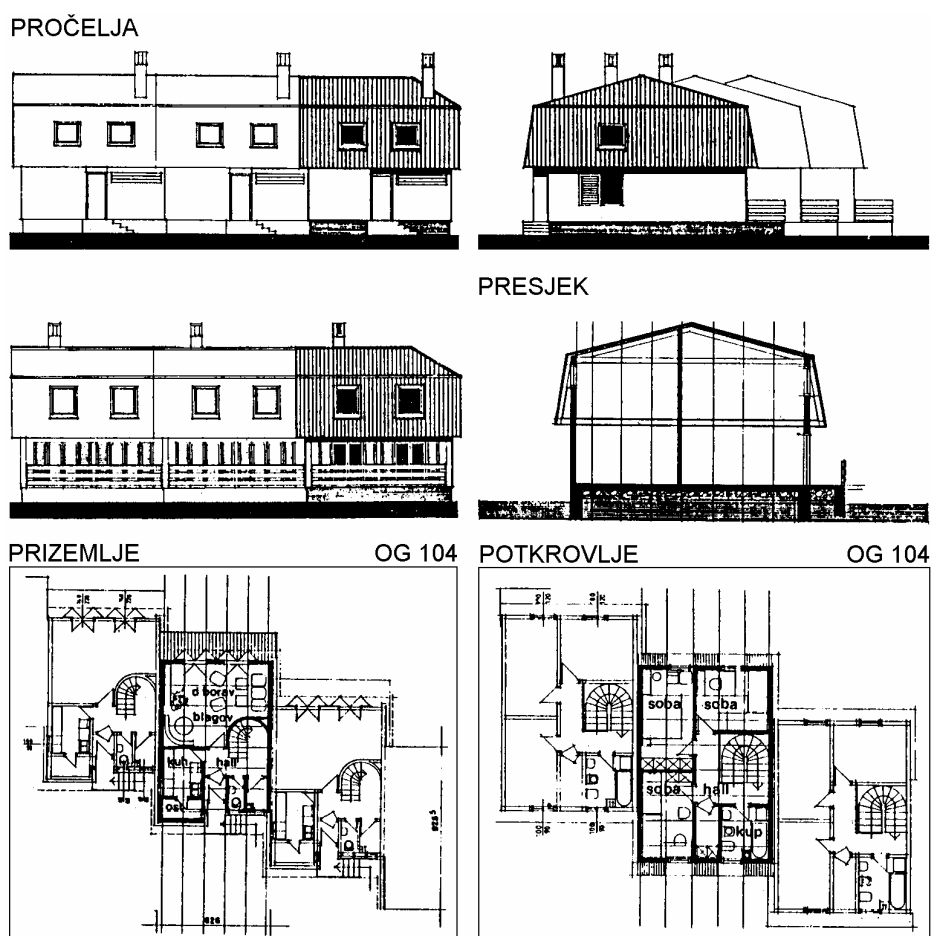
Slika 2.5. Ilustracija (crtež jednog od autora iz 1982.) (lijevo) [18]

Razvojem proizvodnje javila se potreba za podjelom rada u proizvodnom procesu, odnosno potreba za podjelom zaduženja u proizvodnom procesu. Prvi se put pojavljuje potreba za osobama koje nisu neposredno uključene u izradu neke

proizvodne cjeline (npr. nekog stroja), a čiji je zadatak da svim sudionicima u proizvodnom procesu osiguraju crteže, kao i potrebne dopunske, najčešće usmene obavijesti i upute za rad. Ove osobe bile su prvi projektanti i konstruktori, a istodobno i tvorci prve tehničke dokumentacije.

Razvoj znanosti i tehnike te prijelaz na serijsku i visokoserijsku proizvodnju uvjetovat će težnje da tvorevine znanosti i tehnička dostignuća postanu opća svojina, i unutar nacionalnih granica i izvan njih.

Posljedica tih težnji je i povećanje broja kategorija ljudi koji se moraju koristiti tehničkim crtanjem, odnosno tehničkim crtežom kao produktom ove radnje (npr. znanstvenici, projektanti, konstruktori, kalkulanti, tehnolozi, neposredni proizvođači, kontrolori, učenici, studenti itd.).

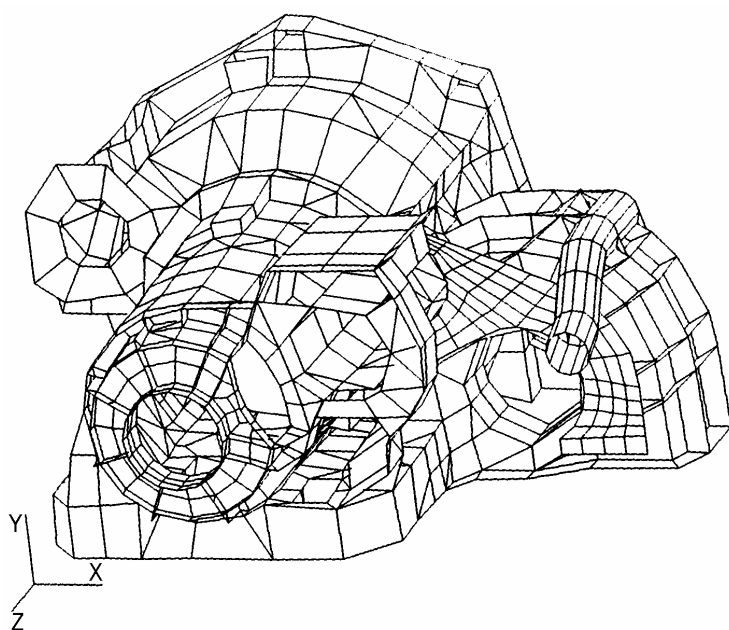


Slika 2.6. Tehnički crteži u arhitekturi (crteži kuće na kat u nizu tipa OG 104) [3]

Radi prikazivanja ideje, pronalaska ili rezultata istraživačkih radova znanstvenici se osim dijagrama, shema, skica i slično koriste i tzv. konceptnim crtežom (tehničkim crtežom) koji predstavlja podlogu za daljnji rad projektanta (koncept). Projektanti se koriste tzv. predprojektnim i projektnim crtežom da bi definirali i prikazali strukturu stroja ili uređaja (proizvodne ili prodajne cjeline u širem smislu). Na temelju predprojektnih i projektnih crteža, konstruktori razgrađuju strukturu stroja ili uređaja te detaljiziranjem sklopova i dijelova pomoću

tzv. sklopnih i radioničkih crteža osiguravaju sastavljanje (gradnju) stroja ili uređaja bez obzira na to gdje su i na koji su način izrađeni sastavni dijelovi.

Konstruktivskim crtežima kao podlogom koriste se kalkulanti radi određivanja cijene koštanja (na temelju procjene utroška materijala za izradu i procjene vremena izrade), tehnolozi za izradu tehnološke dokumentacije (tehnološkog crteža, tehnološkog postupka, skice ili programa krojenja, odnosno rezanja i slično), neposredni proizvođači kao informacijom o konačnom obliku izratka (do kojeg moraju doći obavljanjem tehnološkim postupkom propisanih tehnoloških operacija), kontrolori radi provjere funkcionalnih izmjera itd.



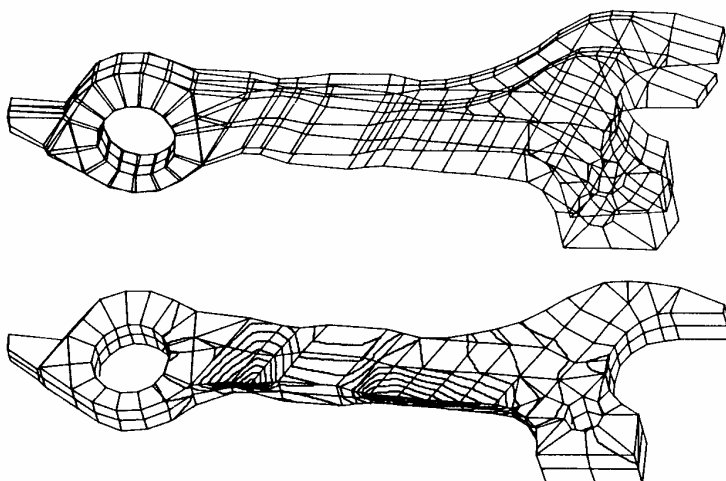
Slika 2.7. Model za analizu metodom konačnih elemenata dobiven računalom podržanim generiranjem mreže [13]

Jedna od tih kategorija ljudi mora osim znanja čitanja posjedovati i znanje izrade tehničkih crteža (znanstvenici, projektanti, konstruktori, tehnolozi), dok druga samo znanje čitanja crteža (kalkulanti, neposredni proizvođači, kontrolori).

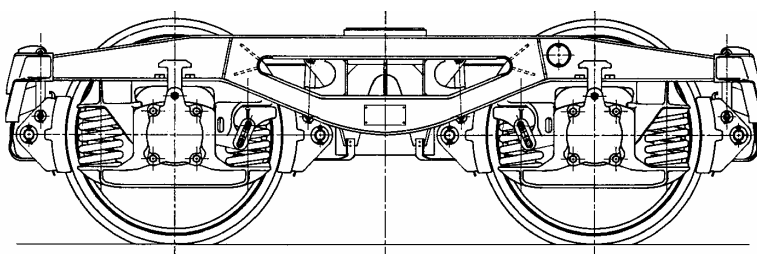
Učenici i studenti trebaju steći oba znanja, jer im znanje čitanja tehničkih crteža omogućava upoznavanje s tvorevinama znanosti i tehnike, a znanje izrade tehničkih crteža osposobljava ih da svoje ideje izraze i prenesu na druge.

Da bi spomenute kategorije ljudi mogle međusobno komunicirati na putu od zamišljene ideje do konačnog proizvoda, potrebno je da tehnički crtež bude izrađen i da se čita po jednakim, unaprijed utvrđenim pravilima – pravilima tehničkog crtanja.

Zadatak je tehničkog crtanja u strojarstvu da se pomoću crteža ili skupa crteža u potpunosti jednoznačno definirani oblik, funkcija, izmjere (veličine), vrsta obrade, materijal, kvaliteta, tolerancije duljinskih izmjera i tolerancije položaja i oblika te ostale bitne karakteristike dijelova, strojeva, uređaja i postrojenja, jasno i jednoznačno za sve strojarske inženjere i tehničare svijeta, bez obzira na njihovo pismo ili jezik kojim govore.

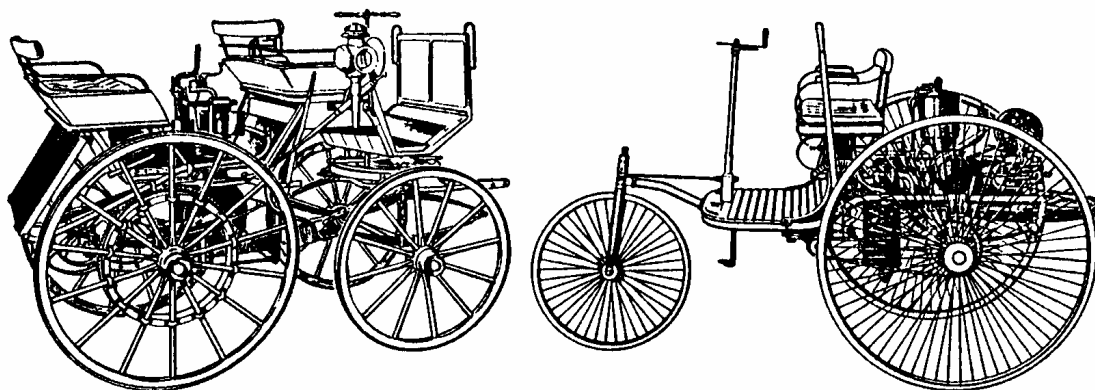


Slika 2.8. Prikaz trodimenzijskog modela s ucrtanim deformacijama (desno gore) i linijama jednakih naprežanja (desno dolje) dobiven računalom podržanom metodom konačnih elemenata [13]



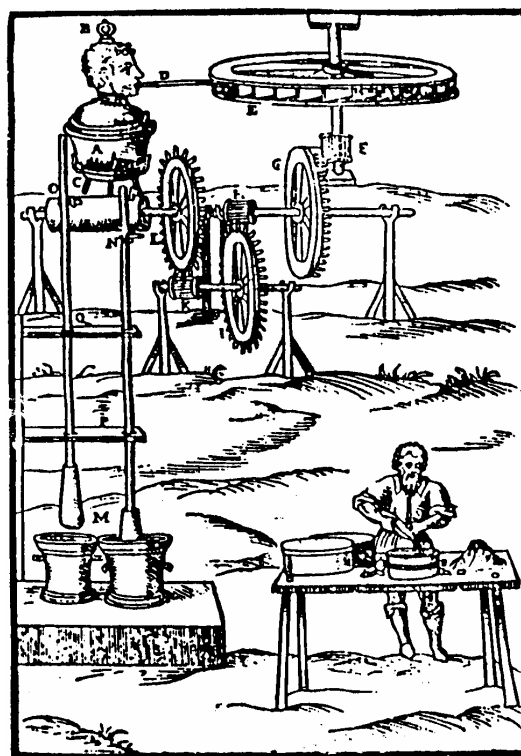
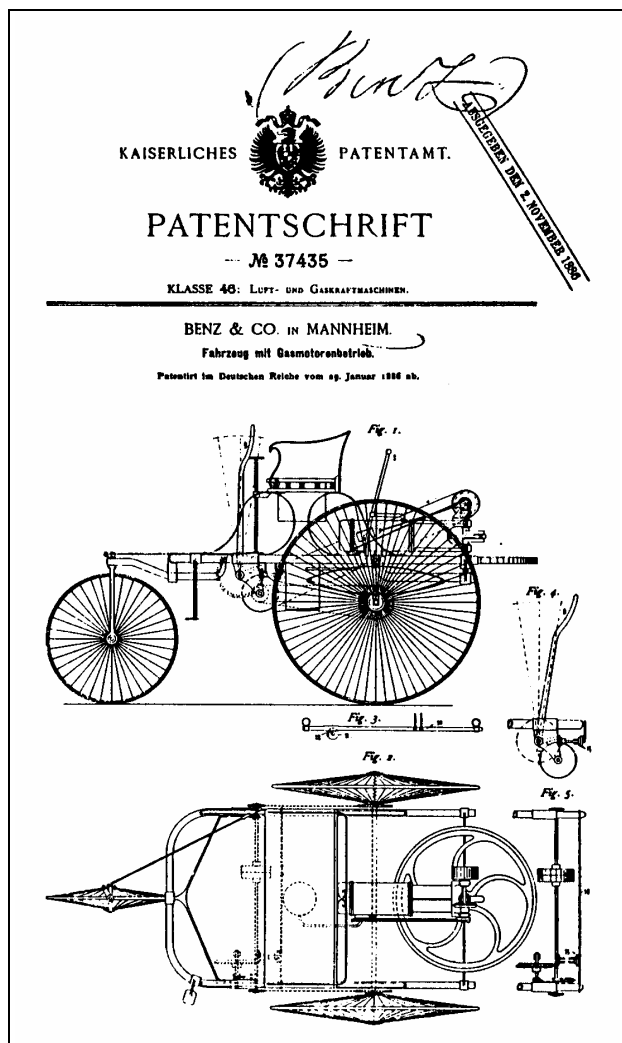
Slika 2.9. Crtež (nacrt) vagonkog okretnog postolja izrađen računalom podržanim crtanjem (lijevo)

Za razliku od umjetničkog crtanja, tehničko se crtanje u prikazivanju prostornog strojnog dijela u ravni crteža koristi načelima nacrtne geometrije kombinirane s propisima obznanjenim u nacionalnim i međunarodnim normama, radi pojednostavnjenja i prilagodbe tehničkog crtanja u strojarstvu.



Slika 2.10. Prostorna predodžba motorne kočije Daimler (lijevo) i motornih kola Benz (desno) iz 1886. [4]

Oblikovanje strojnih elemenata i njihovo definiranje izmjera (kotiranje) zasniva se na načelima tehnologije izrade i obrade, mogućnosti mjerenja, načelima konstruiranja strojeva i njihovih dijelova, kao i propisima obuhvaćenim standardima za simbole, znakovlje, standardne mjere i slično. Uz pomoć međunarodnih normi, koje su temelj za izradu nacionalnih normi, osigurana je sukladnost izražavanja pomoću tehničkog crteža.



Slika 2.11. Crtež pogona pomoću turbinskog kola pogonjenog vodenom parom iz 1629. (gore) [2]

Slika 2.12. Tehnički crtež vozila s pogonom pomoću plinskog motora (izumitelj Karl Benz) na patentnom pismu iz 1886. (lijevo) [4]

Tehničko crtanje u strojarstvu predstavlja posebnu disciplinu u strojarstvu, odnosno temelj je tehničke pismenosti svakog strojarskog inženjera ili tehničara. Tehnički crtež kao rezultat tehničkog crtanja, objedinjavanjem oblika s brojevima, simbolima i tehničkim pismom, sredstvo je izražavanja pomoću kojeg se definira i čuva od zaborava ideja i uputa potrebna za izradu postrojenja, stroja, uređaja i njihovih sastavnih dijelova, odnosno internacionalni jezik pomoću kojeg međusobno komuniciraju svi strojarski inženjeri i tehničari na svijetu.

Ovaj udžbenik usklađen je s važećim hrvatskim normama HRN odnosno međunarodnim normama ISO koje utvrđuje Međunarodna organizacija za normizaciju², a koje vrijede za tehničko crtanje.

2.3. Vrste tehničkih crteža u strojarstvu

U strojarstvu se koristi čitav niz različitih vrsta tehničkih crteža, koji su svrstani ili su dobili naziv prema vrsti predodžbe (dvodimenzijski ili trodimenzijski

² International Organization for Standardization

crtež)³ i načinu izrade (crtež u olovci, crtež u tušu), prema sadržaju (plan rasporeda, dijagram, shema, glavni ili dispozicijski crtež, skupni ili sklopni crtež, skica) i namjeni (radionički crtež, montažni crtež, mjerna skica).

U strojarstvu, a tako i u drugim područjima (građevinarstvo, arhitektura, oblikovanje – design i styling), gotovo i ne postoji primjer za koji nije potreban prikaz crtežom. Iz prije izloženog slijedi da će različiti zahtjevi uvjetovati potrebu za različitim vrstama crteža. S obzirom na veliku raznolikost, ne postoji čvrsta podjela crteža. Crteži se uglavnom mogu podijeliti prema sljedećim polazištima: sadržaj, namjena, način prikazivanja, tehnika izrade i slično [5, 6, 7, 10, 11, 18].

Podjela prema sadržaju. Postoje uglavnom dvije vrste: *sastavni ili montažni crtež* i *detaljni ili radionički crtež*. Sastavni crtež može biti: dispozicija ili glavna montaža čitavog objekta, skupine (odnosno sastav složene jedinice unutar objekta), sklop ili montaža (sastav jednog dijela skupine), podsklop ili podmontaža (sastav jednog dijela sklopa), konstrukcijska jedinica (tehnološki sklop ili skup nekoliko detalja koji se sastavljaju zasebno i kao cjelina montiraju s ostalim dijelovima – najčešće su to zavareni dijelovi unutar podsklopa).

Podjela prema namjeni. Postoji više vrsta, no najvažnije su sljedeće:

- **Projektni crtež** prikazuje objekt u grubim potezima iz kojih su vidljive njegove značajke. Ovaj je crtež izrađen na temelju iskustvenih podataka i proračuna, a ne razrađuje detalje i služi kao podloga za daljnju razradu.
- **Sastavni ili montažni crtež** prikazuje kako se pojedine cjeline (dijelovi ili sklopovi) sastavljaju i kako međusobno funkcioniraju (slike 2.17. i 2.18.).
- **Radionički, detaljni ili izvedbeni crtež** prikazuje strojni dio (nerastavljiv) sa svim potrebnim podacima za njegovu izradu.
- **Mjerna skica** prikazuje glavne priključne mjere za jedan stroj ili više strojeva istog tipa.
- **Ponudbeni crtež** prikazuje objekt u glavnim crtama. Na njemu se prikazuje samo ono što je bitno, a služi samo kao prilog za ponudu ili natječaj (licitiranje, tender). Ovi su crteži likovno dotjerani sa željom da utječu na odluku investitora.
- **Reklamni crtež** prikazuje pojednostavnjeno određeni proizvod (stroj, uređaj, postrojenje itd.) na prospektima ili sličnoj dokumentaciji (slike 2.22. i 2.23.).
- **Ostali crteži** jesu: crtež temelja, ugradbeni crtež, crtež za odobrenje, situacijski crtež, plan kolosijeka, plan instalacije, narudžbeni crtež, crtež isporuke, patentni crtež, skica, shema i slično.

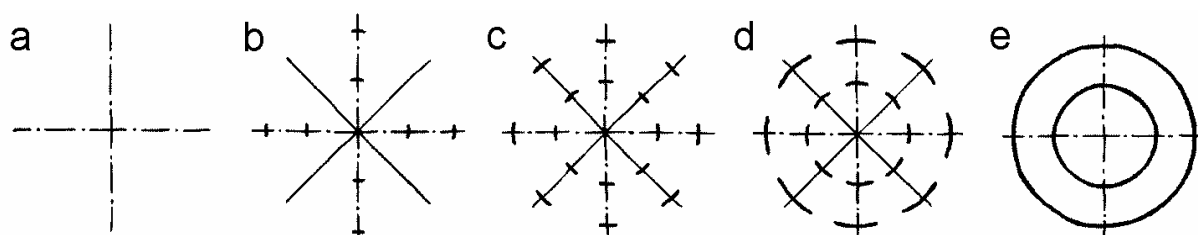
Podjela prema načinu prikazivanja. Postoji *prostorna predodžba*, *shematska predodžba* (predočava strojni dio pojednostavnjeno, približno u glavnim crtama ili dogovorenim simbolima) (slike 2.19. i 2.20.) i *ortogonalna (pravokutna) predodžba* (projekcija koja je najčešće dovoljno objašnjena).

Podjela prema tehnici rada. Prema tehnici rada upotrebljavaju se crteži *tušem* (za osnovne i važnije originale te za snimanje na mikrofilmu) ili *olovkom* (za opću primjenu – strelice, brojke i lukovi, kružnice i tekst izvlače se tušem kako bi se

³ 2D, odnosno 3D predodžba

dobro vidjeli na kopijama), na prozirnem papiru (paus-papiru) ili na tvrdom crtaćem papiru (kopije i prostoručne skice).

Vrlo česta vrsta tehničkog crteža u strojarstvu, a i u nekim drugim područjima, je prostoručni crtež. Kao što se iz naziva može zaključiti, radi se o crtežu koji se crta prostoručno, najčešće olovkom i uglavnom bez uporabe pribora i pomagala za crtanje. Ovakve crteže uglavnom izrađuju inženjeri konstruktori kao upute i podloge crtačima detaljistima, koji ih po potrebi crtaju s priborom u standardnom mjerilu i u tušu, ili ih pak crtaju rabeći računalom podržane sustave za crtanje. Prostoručni crtež crta se poštujući niz posebno utvrđenih pravila, koja jamči jednostavnost i zornost crteža. Jedno od takvih pravila jest i pravilo crtanja kružnice, koje je u pet faza rada predloženo na slici 2.13.

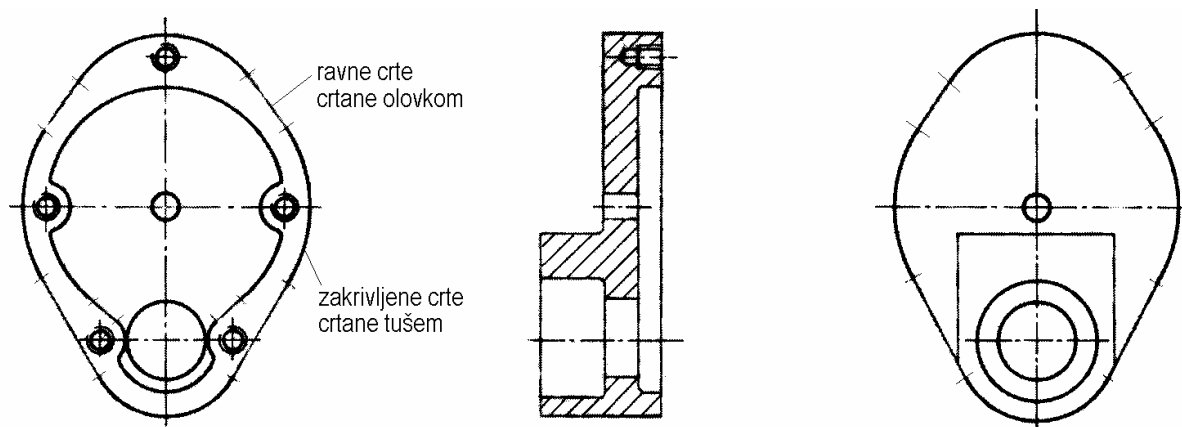


Slika 2.13. Primjer prostoručnog crtanja dviju koncentričnih kružnica u pet faza rada (a – crtanje središnjica, b – označavanje polumjera kružnica na središnjicama i crtanje pomoćnih središnjica pod kutom 45°, c – označavanje kružnica na pomoćnim središnjicama, d – crtanje dijelova kružnica, e – spajanje dijelova kružnica radi konačnog izgleda) [12]

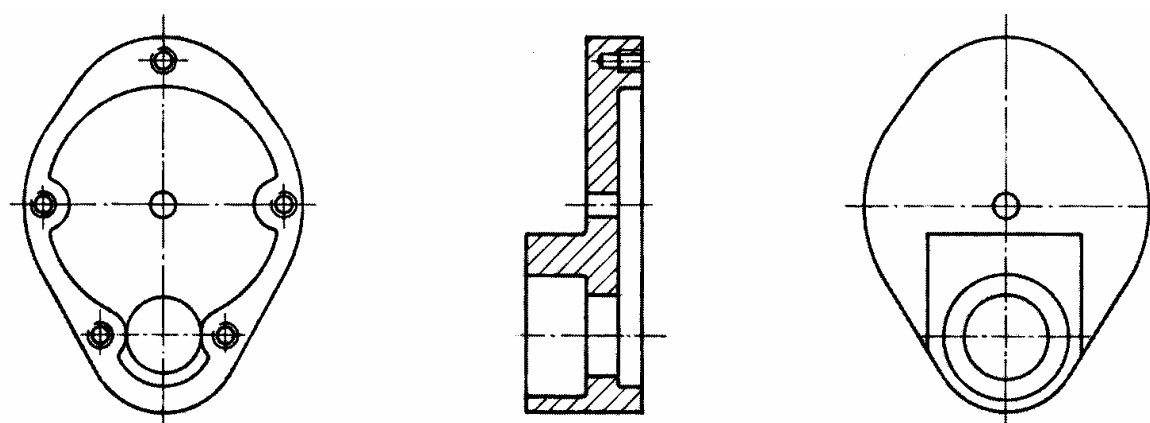
Crtež u olovci i crtež u tušu crtaju se najčešće na prozirnem papiru (poznatom još i kao paus-papir), no rabe se i druge vrste neprozirnih papira s kojih se naknadno crtež preslikava na prozirni papir u tušu, rabeći sav uobičajeni pribor i pomagala za ovu tehniku crtanja. Ako se crtež crta u olovci izravno na prozirni papir (paus-papir), tada se sve kružnice, zaobljenja i zakrivljenja iscrtavaju naknadno u tušu kako bi se postigla ujednačena vidljivost svih crta, posebice na preslikama (kopijama)⁴. Primjeri tzv. ogoljenog tehničkog crteža izrađenog u olovci i u tušu prikazani su na slikama 2.14. i 2.15. Slika 2.16. predložava crtež istog predmeta crtanja, nacrtanog u tušu i opremljenog svim elementima tehničkog crteža koji su potrebni za potpuno određivanje predmeta crtanja.

Pojavom računala (posebice osobnih računala) omogućeno je i crtanje podržano računalom. Grafički programski sustavi su osnova CAD programskih sustava. Ova programska podrška se grubo može razvrstati na 2D (dovodimenzijske) sustave za crtanje i 3D (trodimenzijske) sustave za modeliranje proizvoda. Dvodimenzijski sustavi služe prvenstveno za izradu tehničke dokumentacije, a temelje se na pravilima klasičnog tehničkog crtanja [16].

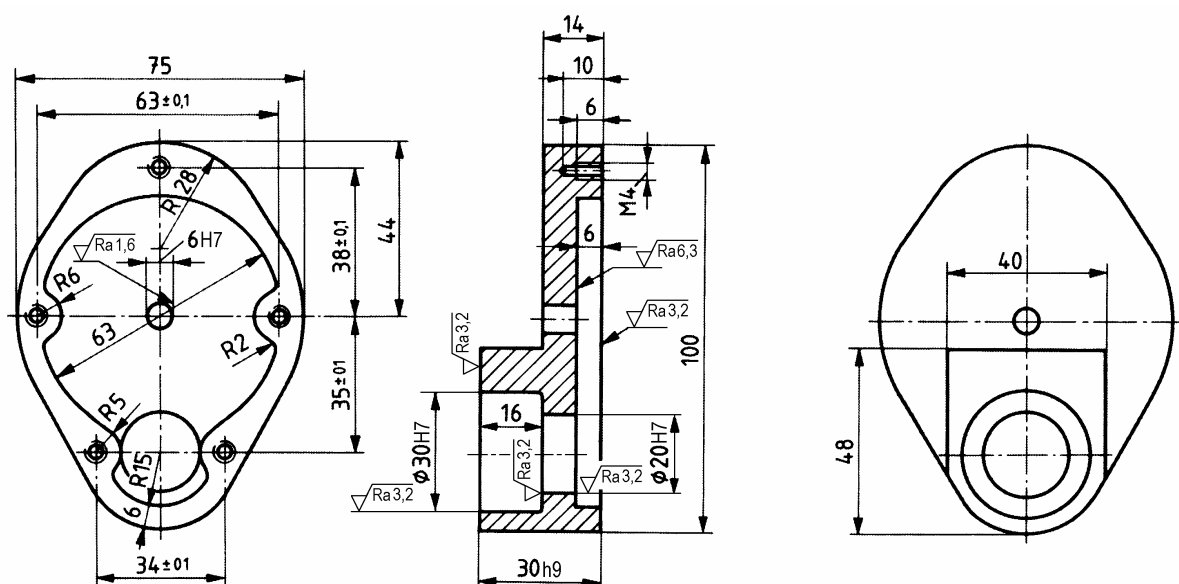
⁴ Kod crteža olovkom teško je i praktično nemoguće postići jednak intezitet pritiska olovkom šestara pri crtanju kružnica, kružnih lukova te zaobljenja i zakrivljenja koji su dijelovi kružnica, u usporedbi s crtanjem ravnih crta.



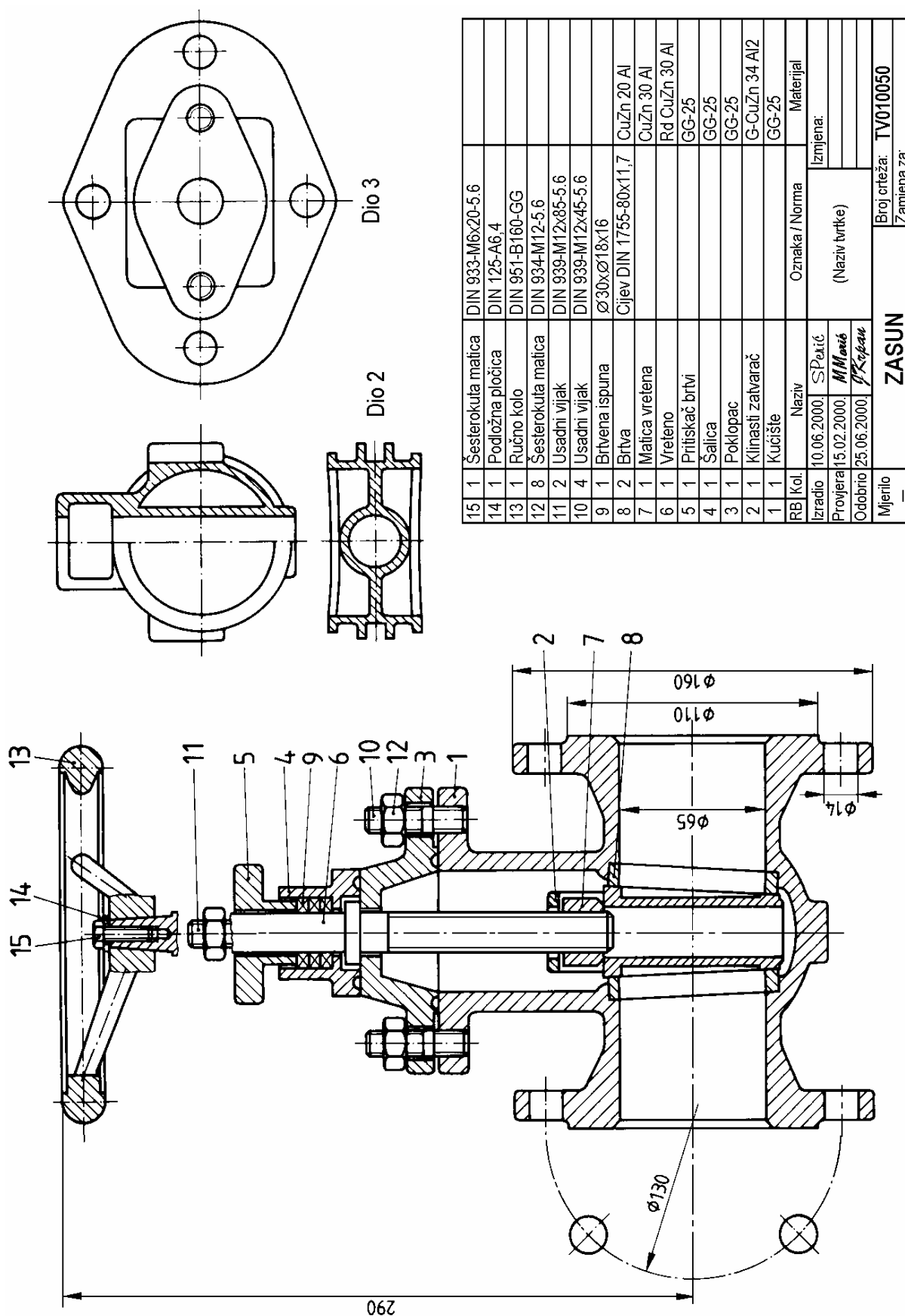
Slika 2.14. Primjer crteža u olovci na prozirnrom papiru (tamnije crte su kružnice i dijelovi kružnice izvučeni tušem) [12]



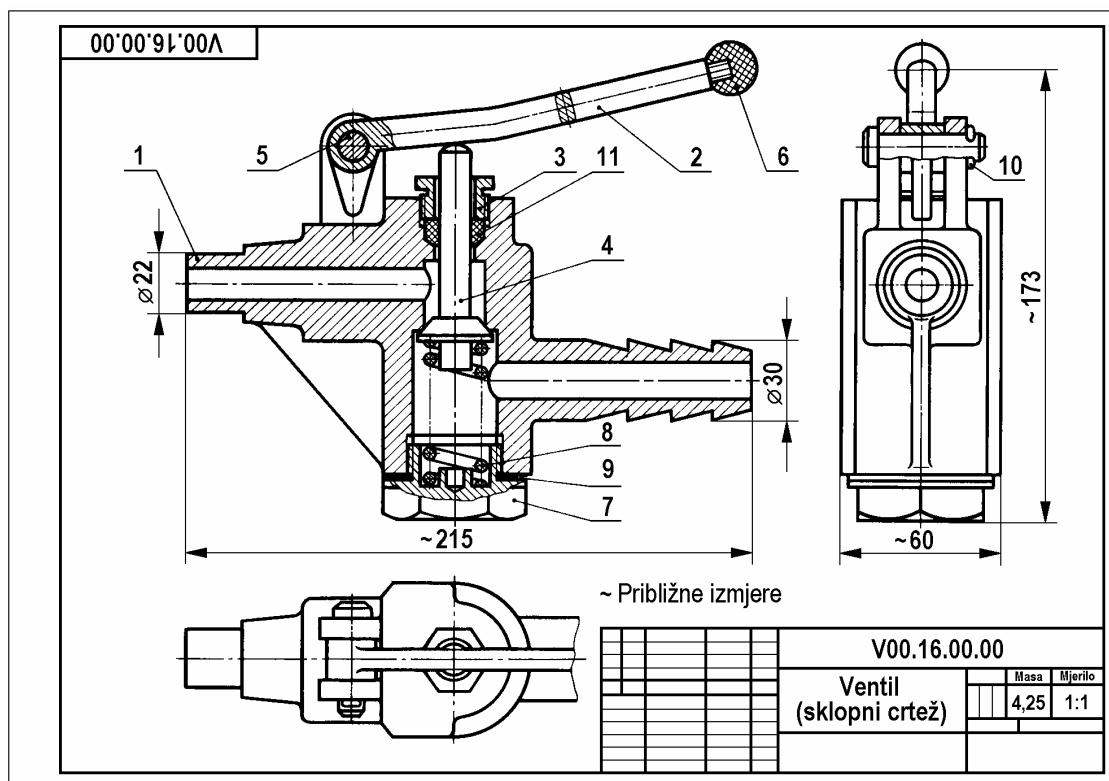
Slika 2.15. Primjer crteža u tušu na prozirnrom papiru (sve crte su jednako tamne) [12]



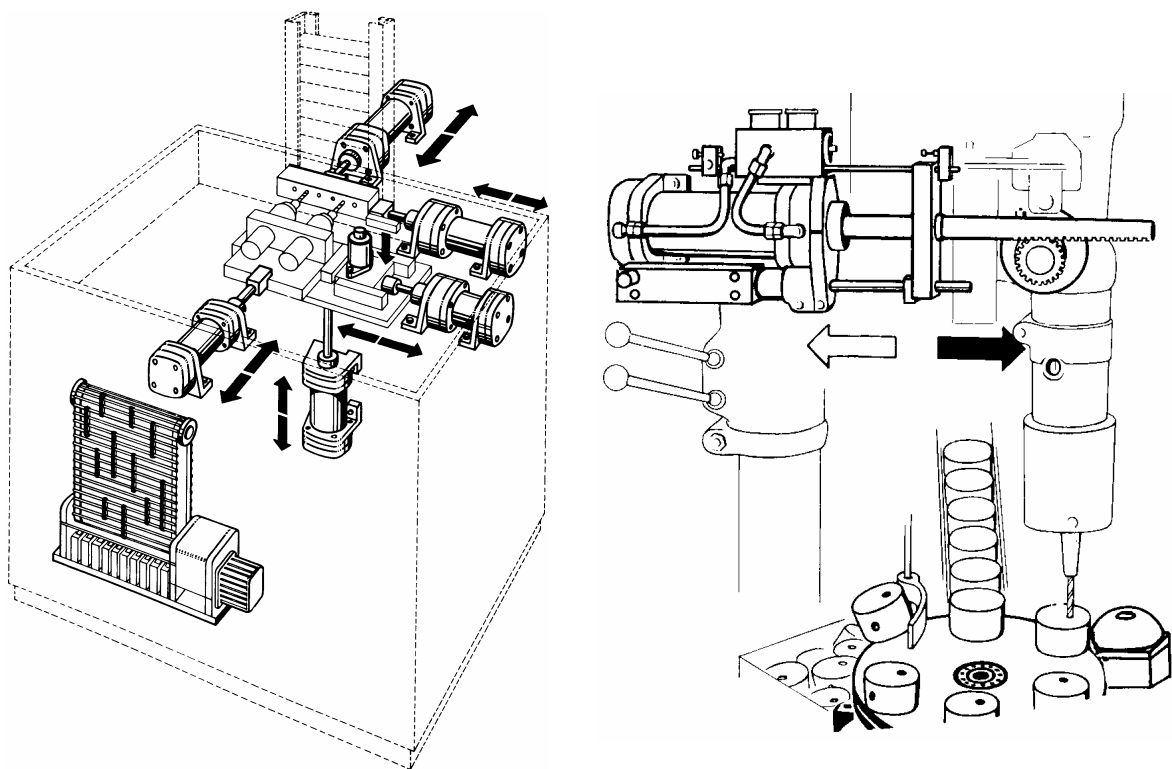
Slika 2.16. Primjer crteža u tušu na prozirnrom papiru (sve su crte jednako tamne i crtež sadrži sve elemente tehničkog crteža, koji u potpunosti određuju predmet crtanja) [12]



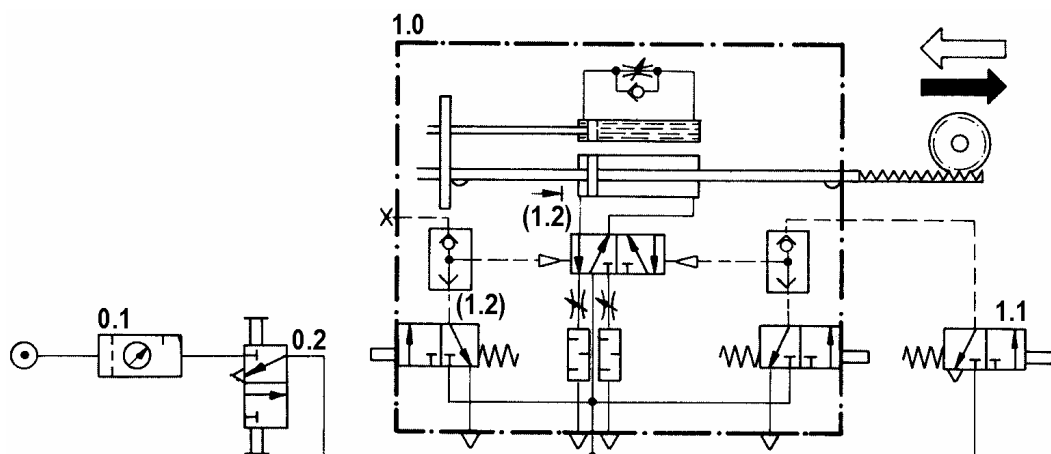
Slika 2.17. Primjer sastavnog ili montažnog crteža



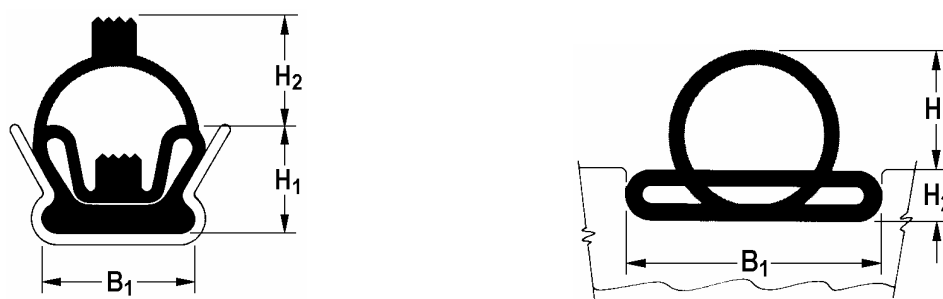
Slika 2.18. Primjer sastavnog ili montažnog crteža



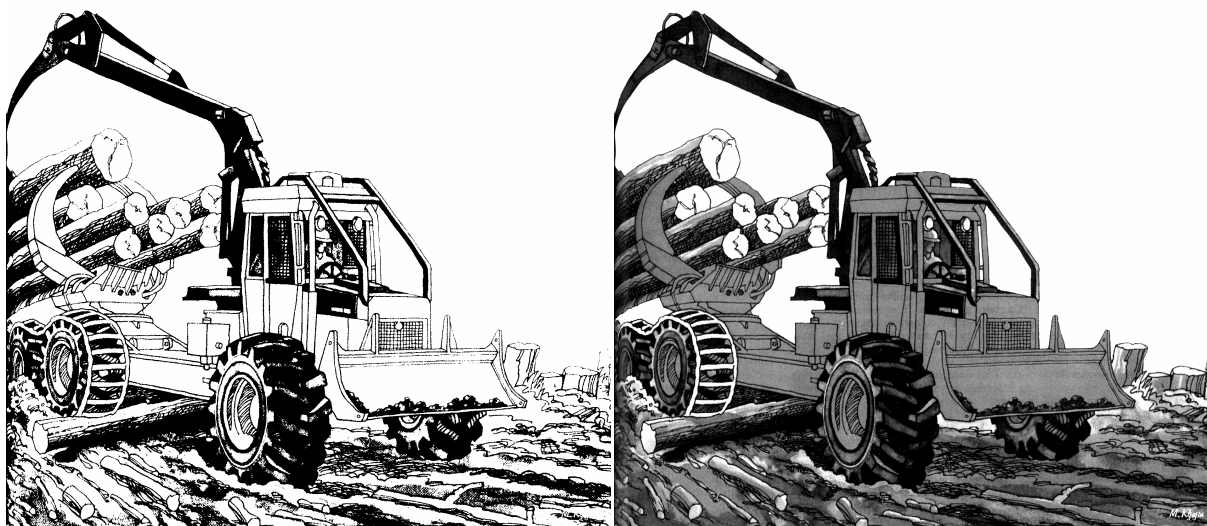
Slika 2.19. Primjeri shematskih crteža [21, 22]



Slika 2.20. Primjer shematskog crteža (shema funkcioniranja uređaja prikazanog drugim tipom shematskog crteža na slici 2.19. – desno) [21, 22]



Slika 2.21. Primjeri reklamnih crteža iz kataloga brtvenih elemenata



Slika 2.22. Primjeri prostoručnih crteža (ilustracija) koji se koriste u reklamne svrhe

Suvremeni trodimenzijski sustavi temelje se na različitim metodama za generiranje 3D proizvoda, a najčešće su u primjeni žičani modeli, površinski modeli i "solid" modeli [16].

3. Normizacija

Standardization

3.1. Razvoj normizacije, značenje i pojmovi

Prapočeci normizacije ili standardizacije naziru se još u pretpovijesnom razdoblju izrade prvih posuda u lončarstvu i primitivnih oblika prvih alata. Npr. još je u starom Egiptu i Rimu postojala norma za opeku, vodovodne cijevi, brodsku opremu (vesla, jarbole, okove i sl.).

U novije vrijeme normizacija se javlja u drugoj polovici osamnaestog stoljeća u vidu normiziranja raznih elemenata vatrenog oružja. U civilnoj proizvodnji normizacija nastaje uvođenjem Whitworthovog navoja (1841.), zatim se 1846. provodi unifikacija širine željezničkog kolosijeka itd. Na nacionalnoj se razini normizacija javlja 1901. i 1907. u Engleskoj odnosno Francuskoj, zatim 1917. u Njemačkoj, 1918. u SAD-u itd.

Organiziran rad na normizaciji ima dugu tradiciju u svijetu, a posebice u Europi – više od jednog stoljeća. Najvažniji datumi u promicanju međunarodnih organizacija za normizaciju jesu:

- 1886. – Prva međunarodna konferencija o normizaciji (Dresden)
- 1904. – osnovana međunarodna organizacija za normizaciju u području elektrotehnike – Međunarodni elektrotehnički kongres (St. Louis)
- 1906. – osnovana međunarodna organizacija za normizaciju pod nazivom Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo IEC (International Electrotechnical Commission)(London)
- 1926. – osnovana međunarodna federacija nacionalnih udruga ISA (International Federation of the National Standardizing Associations)
- 1942. – osnovana međunarodna organizacija za normizaciju ISO (International Organization for Standardization) u Londonu (dan osnivanja 14. travnja obilježava se kao Svjetski dan normizacije), kao nasljednica ISA.

Premda je normizacija ili standardizacija gotovo nezaobilazna u svakoj čovjekovoj aktivnosti, vrlo se često zaboravlja njezina uloga i važnost. U literaturi se mogu naći vrlo različita tumačenja pojmova iz područja normizacije.

Opća enciklopedija JLZ (izdanje 1981.) razmatra standardizaciju ili normizaciju kao proces razvijanja, donošenja i primjene normi ili standarda. Normizacija smanjuje broj tipova, pojednostavnjuje i pojeftinjuje proizvodnju, olakšava kooperaciju (pa i integriranje poduzeća), znatno olakšava sporazumijevanje između proizvođača i kupca, smanjuje skladišne zalihe sirovina, poluproizvoda, gotovih proizvoda, rezervnih dijelova itd.

Spomenuta edicija opisuje pojam normizacije kao vrstu propisa kojom se utvrđuju određena obilježja ili veličine nekog proizvoda, jedinice, nazivi, značajke ili postupci.

Iz druge literature poznata je pak sažeta i vrlo jednostavna definicija: “Norma je jednako rješenje nekog zadatka koji se ponavlja”. Prema [25] standardizacija ili

normizacija je svođenje mnogih oblika proizvoda na manji broj tipičnih obrazaca (normi) stanovite kvalitete, oblika, izmjera, težine itd.; normiranje, prilagođavanje određenom uzorku, izrađivanje po jednom obrascu. Naziv standard dolazi od engleske riječi *standard* koja označava: tipičan oblik proizvoda, klasičan primjerak, normu, obrazac, mjerilo, pravilo, prosjek itd.

Prema ISO GUIDE 2/86 normizacija je definirana, s obzirom na stvarne ili potencijalne probleme, kao aktivnost na utemeljenju mogućnosti zajedničke i višekratne uporabe u cilju postignuća optimalnog stupnja rada u danom kontekstu.

Smatra se da je normizacija jedna od tvorevina industrijskog promicanja novijeg doba i da nije moguće zamisliti djelotvornost gospodarstva i suvremenog društva, općenito, bez postojanja normizacije.

Normama, kao zakonskim aktima, obuhvaćaju se uglavnom:

- **kod sirovina:** kvaliteta, oblici i kemijski sastav,
- **kod sredstava za rad:** dijelovi koji se oblikuju prema čovjekovim potrebama, dijelovi koji troše energiju i koji se zamjenjuju, te kapaciteti tih sredstava,
- **kod radnih mjesta:** osvjetljenje, buka, čistoća zraka, vibracije itd.

Normizaciju treba prihvatiti kao temelj za komuniciranje i razmjenu ideja, proizvoda i usluga na takav način koji omogućava promicanje i konsolidiranje onoga što je već dostignuto. Na temelju iznijetog normizacija je važan element racionalizacije i sadrži tri osnovna postupka:

Unifikacija osigurava funkcijsku i dimenzijsku zamjenjivost sužavanjem asortimana glede vanjskih i unutrašnjih značajki proizvoda.

Tipizacija smanjuje broj tipova jednog proizvoda određene vrste na broj koji zadovoljava potrebe određenog vremena.

Šifriranje osigurava potpunu identifikaciju svakog pojma (predmeta) i istodobno omogućava grupiranje (razvrstavanje) pojmova (predmeta) po istim ili sličnim značajkama.

Normizacija i tipizacija su dakle procesi čiji je osnovni cilj sustavno nastojanje da se uklone raznolikosti između pojedinih predmeta i pojmova koji su inače predviđeni za istu svrhu. Proviđa se na taj način da se između određenog broja proizvoda, dijelova, predmeta i pojmova odabere jedan ili više njih koji najbolje odgovaraju potrebama te koji ujedno mogu preostale predmete, proizvode, dijelove i pojmove potpuno opisati odnosno nadomjestiti. Ne treba shvatiti da pod pojmom normizirati ili standardizirati treba stvarati neke nove proizvode ili dijelove, već prije svega odabrati u prosjeku najbolje ili najprikladnije za neke postavljene zahtjeve. Tehnička normizacija, kao dio opće standardizacije, ima za cilj:

- smanjenje zaliha materijala na skladištu, zaliha gotovih proizvoda, rezervnih dijelova i alata;
- ograničenje broja tipova i dimenzija poluproizvoda, alata, gotovih proizvoda, rezervnih dijelova;
- omogućavanje velikoserijske i masovne proizvodnje smanjenjem broja različitih proizvoda, a time i smanjenja broja tehnoloških procesa;

- povećanje kvalitete proizvodnje, općenito;
- olakšanje i ubrzanje toka konstrukcijskog procesa;
- olakšanje radnih uvjeta;
- omogućavanje smanjenja potroška energije;
- snižavanje troškova kontrole;
- zaštitu ljudskog okoliša.

U području distribucije i prodaje standardizacija omogućava bržu i točniju isporuku, uklanja mogućnost zabuna, olakšava transport te smanjuje broj sporova odnosno troškova koji bi iz toga proizašli.

Normizacijom se postiže veća prikladnost proizvoda, proizvodnih postupaka i usluga u njihovoj primjeni. Poseban doprinos normizacije očituje se u racionalnoj raznovrsnosti, spojivosti (kompatibilnosti) i zamjenjivosti proizvoda, sigurnosti i zaštiti, a pri razmjeni dobara i usluga uklanjaju se prepreke u trgovini i tehnološkoj suradnji. Sve to skupa omogućava bolje gospodarske učinke.

Ovisno o polazištu razlikuje se *selektivna* i *sustavna normizacija*.

Selektivna normizacija polazi od raspoloživog mnoštva značajki stvari, stanja i pojava (karakteristične dimenzije, parametri i slično) i njihovih vrsta, te se izabiru neke značajke ili neki nizovi koji se proglašavaju normom. Takva norma obično ima nepravilno stupnjevane osnovne značajke, a dobra joj je strana što se zadržavaju postojeće značajke odnosno vrste, pa se u pripremi norme lakše postiže sporazum s obzirom na to što u tome podjednako sudjeluju proizvođači i potrošači. Teže se može postići sporazum onda kada treba izdvojiti značajke odnosno vrste proizvoda nekih proizvođača u korist drugih. Selektivna normizacija naziva se i naknadnom, a donedavno je to bio osnovni pristup u normizaciji.

Sustavna normizacija polazi od činjenice da između većine proizvoda i procesa postoje prirodni ili sustavni odnosi i da između proizvoda i procesa koji se normiziraju postoje utjecaji, pa je normalno uzeti u obzir i te odnose. U tom slučaju ne promatra se samo predmet normizacije, već se promatra utjecaj i drugih predmeta kao mogućeg utjecaja nove norme na druge predmete i normative dokumente. Sustavna normizacija naziva se i razvojno-prateća normizacija i ona u novije vrijeme ima prednost u usporedbi sa selektivnom, posebice u informatičkoj tehnologiji.

Kako su norme osnova multilateralnih, bilateralnih, poslovnih i drugih sporazuma i tehničkih propisa, nužno je utvrditi sve nazive kako bi oni imali isto značenje svim njegovim korisnicima. Tako nazivi i pojmovi moraju biti dobro definirani u skladu s praksom. ISO/IEC Guides 2 (1991.), dakle vodič ili tumač ISO/IEC, pod nazivom *Opći nazivi i definicije iz područja normizacije i srodne djelatnosti*, definira 142 pojma i nešto više naziva na osam jezika. U nastavku je navedeno samo nekoliko osnovnih pojmova.

Normativni dokument određuje pravila, odrednice ili značajke djelovanja, ili pak značajke njihovih rezultata. To je skupni naziv za dokumente kao što su norme, propisi, pravila prakse i specifikacije.

Standard ili norma dokument je sastavljen konsenzusom, koji je odobrio ovlašteni organ, namijenjen je općoj i višekratnoj uporabi, a određuje pravila djelovanja ili njihove rezultate radi postizanja određene razine uređenosti u području na koje se norma odnosi.

Tehnička specifikacija ili tehnički uvjet je dokument koji definira tehničke zahtjeve kojima mora udovoljiti proizvod, proces ili usluga. Tehnički uvjet treba odrediti postupke pomoću kojih se može saznati u kojoj je mjeri udovoljeno postavljenim zahtjevima, a može se uzeti kao norma, dio norme ili samostalni dokument.

Pravila prakse je dokument koji preporučuje tehnička pravila ili postupke pri projektiranju, proizvodnji, montaži, održavanju ili uporabi opreme, konstrukcije ili proizvoda. Pravila prakse mogu biti norma, dio norme ili samostalni dokument.

Propis je dokument koji sadrži obvezatna zakonska pravila koja je propisao ovlašteni državni organ.

Tehnički propis propisuje tehničke zahtjeve, bilo izravno bilo upućivanjem na normu, tehnički uvjet ili pravila prakse, bilo pak njihovim uključivanjem u tehnički propis. Tehnički se propis može dopuniti tehničkim uputama kojima se opisuje način usklađivanja s propisanim zahtjevima.

Međunarodna (regionalna ili nacionalna) norma je norma koju je prihvatila mjerodavna organizacija za normizaciju ili norme i dostupna je javnosti.

Prednorma je dokument koju je privremeno prihvatila organizacija za normizaciju i dostupna je javnosti, s namjerom stjecanja potrebnog iskustva za njezinu primjenu temeljem koje će se izraditi norma.

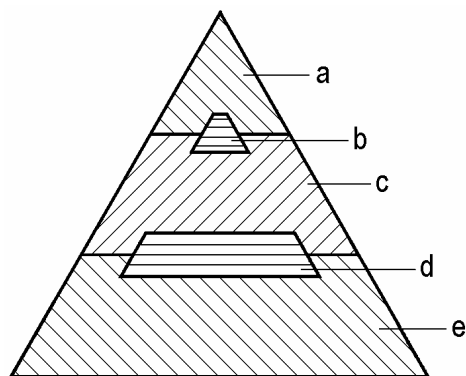
Ostale norme mogu biti prihvaćene na drugim osnovama, na primjer granska i interna norma. Takve se norme mogu primjenjivati i u više zemalja.

Certifikacija je postupak kojim "treća strana" daje pismeno uvjerenje, pod nazivom certifikat, da je proizvod, proces ili usluga usklađena s opisanim zahtjevima.

Priznato pravilo tehnike jest tehnička odredba koju većina priznatih stručnjaka smatra iskazom stanja tehnike. Normativni dokument o tehničkom predmetu koji treba normizirati, ako je pripremljen u suradnji sa svim zainteresiranim stranama i ako postoji konsenzus, smatra se priznatim pravilom tehnike u vrijeme njegova prihvaćanja.

Razina normizacije je geografski, politički ili gospodarski opseg uključenosti u normizaciju. Sve razine normizacije čine sustav s uzajamnim vezama i međusobnim prekrivanjem, kako se to vidi na slici 3.1., u kojem sudjeluju poduzeća i nacionalno i svjetsko gospodarstvo.

Tehnička se normizacija provodi na razini *nacionalne normizacije* (hrvatske norme HRN i tvorničke norme), na razini *europske normizacije* i na razini *međunarodne normizacije*.



Slika 3.1. Piramida normi
(a - međunarodne, b - regionalne, c - nacionalne, d – granske i e – interne)

Tablica 3.1. Oznake međunarodnih, regionalnih i nacionalnih normi

Oznaka	Naziv	Država	Karakter
ABNT	Associacao Brasileira de Norme Tecnicas	Brazil	N
ANSI	American National Standard Institute	SAD	N
AS	Australian Standard	Australija	N
BDS	Balgarski Daržaven Standart	Bugarska	N
BS	British Standard	Velika Britanija	N
CEN	Comite europeen de normalisation	Europa	R
CENELEC	Comite europeen de normalisation electrotechnique	Europa	R
CSA	Canadian Standards Association	Kanada	N
DS	Dansk Standard/Dansk Standardisengsraad	Danska	N
DGN	Direccion General de Normas	Meksiko	N
DIN	Deutsches Institut für Normung	Njemačka	N
ELOT	Ellinikos Organismos Typopoiiseos	Grčka	N
EN	Europäische Norm	Europa	R
GOST	Gosudarstvennyj Standart Rusii	Rusija	N
HRN	Hrvatske norme	Hrvatska	N
IEC	International Electrotechnical Commission	-	M
IS	Indian Standard	Indija	N
ISO	International Organization for Standardization	-	M
JIS	Japanese Industrial Standard	Japan	N
JUS	Jugoslavenski Standard	Jugoslavija	N
MSZ	Magyar Szabvany	Mađarska	N
NBN	Normes Belges	Belgija	N
NEN	Nederlandse Norm	Nizozemska	N
NF	Norme Francaise	Francuska	N
NP	Norma Portuguesa Definitiva	Portugal	N
NS	Norsk Standard	Norveška	N
ÖNORM	Österreichische Norm	Austrija	N
PN	Polska Norma	Poljska	N
SFS	Suomen Standardisoimisliito	Finska	N
SI	Standards of Israel	Izrael	N
SIST	Slovenski standardi	Slovenija	N
SN	Schweizer Norm	Švicarska	N
SS	Sveriges Standard	Švedska	N
STAS	Standard de Stat	Rumunjska	N
TS	Türk Standlari (Turkish Standard)	Turska	N
UNE	Una Norma Espanola	Španjolska	N
UNI	Ente Nazionale Italiano di Unificazione	Italija	N

N – nacionalna norma, R – regionalna norma, M – međunarodna norma

3.2. Nacionalne norme

Nacionalna normizacija obuhvaća normizaciju jedne zemlje i bavi se normizacijom na svim stručnim područjima. Pregled nekih poznatijih međunarodnih, regionalnih i nacionalnih normi dan je u tablici 3.1. Nacionalna organizacija za normizaciju može biti državna ili privatna. Bez obzira na način financiranja, takva organizacija mora imati status ovlaštene organizacije za izradu nacionalnih normi i za zastupanje interesa zemlje u svim pitanjima koja se odnose na normizaciju na međunarodnoj i regionalnoj razini. U toj organizaciji moraju biti zastupljeni svi zainteresirani za normizaciju (država, stručna udruženja, industrija, organizacije potrošača, istraživačke organizacije), a izradu nacionalnih normi treba povjeriti stručnim ekipama sastavljenim od eksperata iz organizacija zainteresiranih za izradu normi.

3.3. Normizacija u Republici Hrvatskoj

Republika Hrvatska pripada skupini zemalja u kojima je normizacija nastala sa značajnim zaostajanjem. Između 1936. i 1941. javljaju se počeci normizacije, uglavnom kao traženja organizacijskih oblika. Tek nakon Drugog svjetskog rata, kada je započeo značajniji proces industrijalizacije zemlje, ovo područje dobiva primjereno značenje i mjesto i u nas. Jugoslavenski zavod za normizaciju kao samostalna ustanova utemeljen je 1962. Norme koje je izdavao ovaj zavod nosile su kraticu JUS – jugoslavenski standard.

Tehničku normizaciju u Republici Hrvatskoj provodi Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo (DZNM), koji je opunomoćena hrvatska ustanova u međunarodnim i regionalnim normizacijskim organizacijama. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo tijelo je državne uprave koje je osnovano na temelju Zakona o ustrojstvu državne uprave (NN 73/91 od 31. prosinca 1991.). Djelokrug rada Zavoda temelji se na Zakonu o sustavu državne uprave (NN 75/93) i Zakonu o ustrojstvu i djelokrugu ministarstava i državnih upravnih organizacija (NN 72/94 i 92/96) u čijoj je nadležnosti uređivanje područja normizacije, mjeriteljstva, ispitivanja, potvrđivanja (certifikacije) i ovlašćivanja (akreditacije) te nadzora predmeta od plemenitih kovina.

DZNM zastupa Republiku Hrvatsku u međunarodnim i regionalnim normizacijskim i mjeriteljskim organizacijama kao što su:

- ISO (Međunarodna organizacija za normizaciju),
- IEC (Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo),
- OIML (Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo),
- CEN¹ (Europski odbor za normizaciju),
- CENELEC² (Europski odbor za elektrotehničku normizaciju),

¹ CEN - Comité européen de normalisation – Bruxelles

² CENELEC - Comité européen de normalisation electrotechnique – Bruxelles

ETSI (Europski institut za telekomunikacijske norme),
EA (Europska akreditacija)

i surađuje s drugim međunarodnim, regionalnim i nacionalnim organizacijama iz područja normizacije, ovlašćivanja (akreditacije), potvrđivanja (certifikacije) i mjeriteljstva.

DZNM svoje aktivnosti provodi sukladno zakonima:

- o mjernim jedinicama (NN 58/93),
- o nadzoru predmeta od plemenitih kovina (NN 76/93),
- o mjeriteljskoj djelatnosti (NN 11/94),
- o normizaciji (NN 55/96) i
- o računanju vremena (NN 27/93 i 33/96).

Zakon o normizaciji uređuje sustav normizacije, temeljne zahtjeve za proizvode, procese i usluge, sustav ocjenjivanja sukladnosti, sustav ovlašćivanja (akreditacije) i ispitivanja, tehnički nadzor te utvrđuje osnove za donošenje tehničkih uputa, uputa za uporabu, održavanje, rezervne dijelove, jamčevni list, deklariranje, označavanje, obilježavanje i pakiranje proizvoda odnosno inspekcijski nadzor i mjere.

DZNM objavljuje norme i druge normativne dokumente, kao posebne publikacije iz djelokruga rada Zavoda (različiti priručnici i tehničke upute), od vlastitih publikacija do prijevoda istovjetnih dokumenata međunarodnih i europskih normizacijskih, mjeriteljskih organizacija i organizacija za ovlašćivanje (akreditacije).

Glasilu DZNM službeno je glasilu, a izlazi dvomjesečno na hrvatskome jeziku.

Katalog HRN ustrojen je strogo prema propisima ISO-a (ISO 7220).

Upute za nazivlje (prijevod s engleskog jezika) temelje se na međunarodnim normama ISO 704, ISO 860 i ISO 10241 i daju temeljne podatke potrebne za uspješno izvođenje terminološkog rada.

Bijela knjiga (prijevod na hrvatski jezik) sastavni je dio izdavačke djelatnosti DZNM-a, a cilj joj je uputiti pridružene države (u Europsko vijeće) kako se pripremiti za djelovanje prema zahtjevima unutrašnjeg tržišta EU. Predlaže redoslijed kojim valja približiti nacionalna zakonodavstva Europskoj uniji.

Međunarodna razredba normi (ICS) (prijevod na hrvatski) služi za ustroj kataloga međunarodnih i nacionalnih normi i drugih normativnih dokumenata, ali i kao osnova za narudžbe prema područjima interesa korisnika.

U **Novom pristupu** kao publikaciji DZNM-a prikazana je iznimna pozornost posvećena usklađivanju tehničkih propisa i normi u oblikovanju zajedničkog europskog tržišta. Usklađivanje tehničkih propisa temelji se na prihvatanju bitnih zahtjeva za sigurnost koje moraju zadovoljavati proizvodi koji se stavljaju na tržište Europske unije (EU). Ovdje se pod bitnim zahtjevima u punom radu misli na

zaštitu zdravlja i života ljudi te zaštitu okoliša, neovisno o različitim načinima postizanja tih ciljeva.

Za slobodno kretanje roba unutar velikog (europskog) tržišta uvjet je usklađenje tehničkih propisa, normi i postupaka ocjene sukladnosti koje obuhvaća širok spektar proizvoda iz područja graditeljstva, strojarstva, elektrotehnike, medicinske tehnike, telekomunikacija i informatičke tehnike itd. To se usklađivanje temelji na tzv. "Novom pristupu" donošenja propisa na razini EU.

Prema Rezoluciji Vijeća o općem pristupu ocjeni sukladnosti, odluka Vijeća u vezi s modelima za različite faze postupaka ocjene sukladnosti i pravilima za stavljanje i uporabu CE oznake sukladnosti, na razini Zajednice treba promicati opće zahtjeve europskih normi za osiguranje kakvoće (EN ISO 9000) i zahtjeve normi EN 45000 koje moraju zadovoljavati tijela uključena u postupke ocjene sukladnosti te uspostavu sustava ovlašćivanja.

Preporuke o normizacijskoj politici utvrđuju preporuke vladama zemalja članica UN/EC-a o razvoju međunarodne suradnje u tehničkom usklađivanju i normizacijskoj politici.

SI-upute obuhvaćaju povijest, načela i pravila pisanja osnovnih SI-jedinica. Prihvaćaju nedavnu odluku Međunarodne konferencije za utege i mjere (CGPM) kojom je ukinut razred dopunskih jedinica u SI-sustavu.

Međunarodni sustav jedinica (SI) međunarodni je dokument sustava jedinica u kojem se daje popis svih zaključaka i preporuka Opće konferencije za utege i mjere (CGPM) i Međunarodnog odbora za utege i mjere (CIPM) koje se odnose na Međunarodni sustav jedinica.

Informacijsko dokumentacijsko središte (NORMOTEKA) DZNM obuhvaća sljedeće norme:

- hrvatske (HRN),
- međunarodnih normizacijskih organizacija (ISO, IEC),
- regionalnih normizacijskih organizacija (CEN, CENELEC, ETSI),
- drugih nacionalnih normizacijskih organizacija (DIN, BSI),
- s pojedinih užih područja normizacija (AISI, ASTM).

Hrvatske norme (HRN) izrađuju se propisanim postupkom kako slijedi:

- Svatko ima pravo podnijeti zahtjev za izradu norme.
- Hrvatske norme (HRN) izrađuju tehnički odbori sastavljeni od stručnjaka iz zainteresiranih organizacija.
- Nacrt HRN-a upućuje se na javnu raspravu prije njegova usvajanja.
- Svaki pravodobno dospjeli prigovor iz javne rasprave na Nacrt HRN-a mora se razmotriti s podnositeljem prigovora. Ako se prigovor odbije, podnositelj ima pravo tražiti pokretanje postupka arbitraže.
- Nacrt HRN-a prije preuzimanja u zbirku hrvatskih normi podvrgava se ispitivanju kojim se utvrđuje jesu li poštovana pravila i načela normizacijskog rada i je li nova norma u proturječju s već postojećim normama.

- Redovito se podvrgavaju preispitivanju sve HRN, i to najkasnije svakih pet godina, a po potrebi podvrgavaju se reviziji ili se povlače iz upotrebe.
- HRN uzimaju u obzir stvarno stanje tehnike, poštujući znanstvene spoznaje i gospodarsku stvarnost.
- Prihvaćenim zahtjevima o nacrtima normi stavljenim na javnu raspravu za normizaciju i o objavljenim HRN, obavještava se javnost putem glasila Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo DZNM-a.
- HRN se unose kao općeprihvaćeni zahtjevi u raspisima i ugovorima, pravnim propisima.

Metodama izravnog uključivanja i dinamičkog povezivanja propisa i tehničke norme ostvaruje se uključivanjem HRN-a u pravni ustroj.

Općenito, primjena HRN-a je dobrovoljna, a obveza može proizići iz pravnih i upravnih propisa, ugovora ili drugih pravnih načela. Primjena HRN-a nikoga ne oslobađa osobne odgovornosti i svako posluje na vlastiti rizik. Isto tako treba znati da će se u budućnosti sve veći broj normizacijskih procesa (normizacijske regulative) prenositi s nacionalnih na nadnacionalne razine. Norme ili standarde u Hrvatskoj izdaje Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo (DZNM) i nose oznaku HRN. Hrvatske norme (HRN) posjeduju zaštitu s naslova autorskog prava nositelja DZNM-a.

3.4. Međunarodna i regionalna (europska) normizacija

Međunarodne organizacije za normizaciju ISO/IEC, osim realizirane suradnje, na putu su stvaranja jedinstvene organizacije za normizaciju ISU – International Standardization Union. Regionalne (europske) organizacije CEN/ CENELEC i ISO/IEC imaju sporazum o suradnji.

Osim aktivnosti ovih organizacija, treba imati na umu činjenicu da još oko tridesetak međunarodnih organizacija radi na poslovima normizacije. Ovdje treba istaknuti specijalizirane agencije OUN-a koje se bave problematikom normizacije. Europska ekonomska komisija specijalizirana je agencija OUN-a koja radi u okviru Ekonomskog i socijalnog savjeta. U djelokrugu rada ove agencije OUN-a posebna se aktivnost odvija na godišnjim sastancima funkcionara vlada odgovornih za politiku normizacije na kojima se razmatra promicanje normizacije i daju preporuke za daljnji rad u ovom području, s naglaskom na međunarodnu suradnju, globalne programe za donošenje normi po područjima, kao i na osiguravanju kvalitete. Posljednjih godina naglasak se daje normizaciji s gledišta zaštite životne sredine i sigurnosti.

U svezi s tim izrađena je Lista normizacije, koja je od interesa za zemlje članice ECE/UN, dana prema prije usvojenim prioritetima kao dokument ECE/STAND/20/Rev. 2.

Lista prioriteta

- A. Sigurnost i zdravlje
- B. Zaštita životne sredine i kontrola zagađenja
- C. Racionalno korištenje energije i sirovina i
- D. Opći (u slučaju da nedostatak harmoniziranih normi može predstavljati tehničke prepreke na međunarodnom tržištu).

Ovi prioriteti prihvaćeni su i u radu ISO/IEC-a, a dokument je usvojen još u svibnju 1988. i obuhvaća:

- 01. nuklearnu energiju i zaštitu od zračenja
- 02. građevinarstvo – opremu i proizvode
- 03. električne i elektroničke uređaje i komponente
- 04. zaštitu od požara
- 05. životnu sredinu
- 06. prehrambene proizvode
- 07. uređaje iz područja strojarstva
- 08. zdravlje
- 09. traktore i poljodjelačke strojeve
- 10. uređaje za transport tereta
- 11. informatičku tehnologiju

Rad na normizaciji u okviru ECE-a odvija se putem odgovarajućih komiteta, i to: za unutrašnji transport, poljodjelstvo, građevinarstvo, drvo i drvnu građu, plin, promicanje trgovine, probleme vode i energije.

O cjelovitom uvidu brine se zajednička organizacija (FAO/WHO) – Codex Alimentarius Commission – osnovana s ciljem realiziranja programa OUN-a za normizaciju hrane i Međunarodna organizacija za ekonomsku suradnju i promicanje (OECD), čija je aktivnost vezana za normizaciju poljoprivrednih proizvoda i strojeva za rad u poljodjelstvu.

Zaostajanje normizacije naše zemlje moguće je nadoknaditi ako generalna orijentacija vlastite normizacije bude ulazak u tijekove međunarodne normizacije. Rad u ISO/IEC-sustavu globalne normizacije podrazumijeva mogućnost sudjelovanja na oko 600 tehničkih sastanaka godišnje, s 30.000 nacionalnih delegata iz 91 zemlje svijeta uz podršku 250.000 eksperata u savjetodavnim tehničkim skupinama. Svakako da je ovo obilje znanja i informacija potrebno posebice zemljama kao što je Hrvatska. U vrlo složenoj situaciji prihvaćanje međunarodnih normi najjednostavnije je rješenje, a može biti i najbolje ako se to osmišljeno učini. Dakle, prihvaćanje međunarodnih normi kao vlastitih trebalo bi biti pravilo i orijentacija domaće normizacije, ali ne bez iznimke i bez ocjene tehničkih odbora osnovanih za rad na normizaciji u odgovarajućem području. Budući rad u međunarodnoj organizaciji za normizaciju mora podrazumijevati apsolutno praćenje i aktivno sudjelovanje u radu ISO-ovih i IEC-ovih radnih tijela,

uključujući takav stupanj pripremljenosti koji omogućava utjecaj na donošenje odluka, pa i vođenje pojedinih komiteta. Bez nacionalnih normizacija nema niti regionalnih niti međunarodne normizacije. Uloga nacionalne organizacije za normizaciju nije samo u pronalaženju putova za primjenu međunarodnih normi, već i vođenje računa da vlastiti interesi, na najbolji način za zemlju, budu usuglašeni s općim.

Gibanja u Europskoj uniji, programom uklanjanja tehničkih zapreka (propisi, direktive, norme), treba iskoristiti kao svojevrsan izazov i povoljnu priliku i za kvalitetan skok u radu na normizaciji i kao mogućnost da se i vlastitim tehničkim progresom stane rame uz rame s ostalim europskim zemljama. Europske norme (EN) primjenjuju se već u većini zemalja Europe (EEZ, EFTA), a također i u mnogim drugim neeuropskim zemljama. Preduvjeti za sve akcije u području normizacije jesu masovno obrazovanje i usavršavanje kadrova za obavljanje ovih poslova, odnosno borbe za novu normizaciju. Posebice se treba angažirati u tvornicama, dakle tamo gdje se stvara kvaliteta i gdje je potrebna primjena normi. Usavršavanje najvišeg rukovoditeljstva u tvornicama u ovom području od najveće je važnosti jer je njihova odgovornost za uspješnost ove akcije najveća (nije dovoljno samo znati što uraditi – imati normu, već to treba i uraditi – primijeniti normu).

3.5. Normizacija u strojarstvu

Proizvodi strojogradnje, strojevi, uređaji, aparati, postrojenja, alati, naprave, instrumenti te posebni strojni dijelovi, u sve većoj količini i u sve većem asortimanu, prodiru kao svakodnevna potreba u svaku granu gospodarstva, u svaku industriju, u najšire slojeve pojedinačne potrošnje. S obzirom na to da se radi o mnoštvu različitih proizvoda koji se puštaju u promet, od važnosti je svakog gospodarstva i društva uvođenje određenog niza u vrstama i veličinama ovih proizvoda. Potreba za tipizacijom nužna je i radi lakše i radi jeftine proizvodnje. Prilikom tipizacije treba imati na umu da broj vrsta treba biti što manji i da se one mogu namjenski ispravno primijeniti na sve proizvode. Tako su npr. izvedene tipizacije navoja po vrstama: određeni broj vrsta navoja za vijke i matice, određeni broj vrsta navoja za cijevi itd. Slično tipizaciji vrsta navoja provedene su (ili se mogu provesti) tipizacije za velik broj strojnih dijelova ili strojeva, aparata, uređaja, alata, motora i slično. Velike različitosti strojnih dijelova, i oblikom i veličinom, nužno je svesti na razumnu (optimalnu) mjeru, a da se zadovolji široko polje potreba. Tako se npr. pri izradi vijaka istog nazivnog promjera različitih duljina ili pri izradi remenica za klinasti (trapezni) remen i zupčanika različitih promjera te pri izvođenju elektromotora različitih po snazi ne izvode veličine po aritmetičkoj progresiji, već se koristi promjena spomenutih veličina po geometrijskoj progresiji, odnosno tzv. nizovi normnih brojeva.

Tablica 3.2. Temeljni nizovi normnih brojeva prema HRN ISO 3:1997

Temeljni nizovi				Serijski broj	Teorijska vrijednost		Postojana razlika između vrijednosti temeljnog niza i računskih vrijednosti, %
R5	R10	R20	R40		Mantisa logaritma	Računske vrijednosti	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1,00	1,00	1,00	1,00	0	000	1,000	0
			1,06	1	025	1,0593	+0,07
		1,12	1,12	2	050	1,1220	-0,18
			1,18	3	075	1,1885	-0,71
	1,25	1,25	1,25	4	100	1,2589	-0,71
			1,32	5	125	1,3335	-1,01
		1,40	1,40	6	150	1,4125	-0,88
			1,50	7	175	1,4962	+0,25
1,60	1,60	1,60	1,60	8	200	1,5849	+0,95
			1,70	9	225	1,6788	+1,26
		1,80	1,80	10	250	1,7783	+1,22
			1,90	11	275	1,8836	+0,87
	2,00	2,00	2,00	12	300	1,9953	+0,24
			2,12	13	325	2,1135	+0,31
		2,24	2,24	14	350	2,2387	+0,06
			2,36	15	375	2,3714	-0,48
2,50	2,50	2,50	2,50	16	400	2,5119	-0,47
			2,65	17	425	2,6607	-0,40
		2,80	2,80	18	450	2,8184	-0,65
			3,00	19	475	2,9854	+0,49
	3,15	3,15	3,15	20	500	3,1623	-0,39
			3,35	21	525	3,3497	+0,01
		3,55	3,55	22	550	3,5481	+0,05
			3,75	23	575	3,7584	-0,22
4,00	4,00	4,00	4,00	24	600	3,9811	+0,47
			4,25	25	625	4,2170	+0,78
		4,50	4,50	26	650	4,4668	+0,74
			4,75	27	675	4,7315	+0,39
	5,00	5,00	5,00	28	700	5,0119	-0,24
			5,30	29	725	5,3088	-0,17
		5,60	5,60	30	750	5,6234	-0,42
			6,00	31	775	5,9566	+0,73
6,30	6,30	5,30	6,30	32	800	6,3096	-0,15
			6,70	33	825	6,6834	+0,25
		7,10	7,10	34	850	7,0795	+0,29
			7,50	35	875	7,4989	+0,01
	8,00	8,00	8,00	36	900	7,9433	+0,71
			8,50	37	925	8,4140	+1,02
		9,00	9,00	38	950	8,9125	+0,98
			9,50	39	975	9,4406	+0,63
10,00	10,00	10,00	10,00	40	000	10,000	0

Tablica 3.3. Izvanredni niz normnih brojeva prema HRN ISO 3:1997

Izvanredni niz R80			
1,00	1,80	3,15	5,60
1,03	1,85	3,25	5,80
1,06	1,90	3,35	6,00
1,09	1,95	3,45	6,15
1,12	2,00	3,55	6,30
1,15	2,06	3,65	6,50
1,18	2,12	3,75	6,70
1,22	2,18	3,87	6,90
1,25	2,24	4,00	7,10
1,28	2,30	4,12	7,30
1,32	2,36	4,25	7,50
1,36	2,43	4,37	7,75
1,40	2,50	4,50	8,00
1,45	2,58	4,62	8,25
1,50	2,65	4,75	8,50
1,55	2,72	4,87	8,75
1,60	2,80	5,00	9,00
1,65	2,90	5,15	9,25
1,70	3,00	5,30	9,50
1,75	3,07	5,45	9,75

3.5.1. Normni brojevi – nizovi normnih brojeva

Normni brojevi počeli su se upotrebljavati u Francuskoj potkraj devetnaestog stoljeća (vidi HRN ISO 17:1997). Od 1877. do 1879. satnik Charles Renard, inženjerski časnik, izradio je racionalnu studiju o elementima potrebnim za izradu zrakoplova lakšeg od zraka. On je računao specifikacije za pamučnu užad sukladno sustavu stupnjevanja, tako da bi se užad mogla proizvoditi unaprijed, bez pretpostavke o mjestu naknadne ugradnje. Uočivši prednost koja se može izvesti iz geometrijskog niza, on je kao temelj prihvatio uže koje ima masu od a g/m (gram/metar), a kao sustav stupnjevanja pravilo koje bi nakon svakog petog koraka niza dalo doprinos koji je jednak jednoj desetini vrijednosti a , tj.

$$a \cdot q^5 = 10 \cdot a \text{ ili } q = \sqrt[5]{10}, \quad (3.1)$$

odakle se dobiva sljedeći brojčani niz

$$a, a \cdot \sqrt[5]{10}, a \cdot (\sqrt[5]{10})^2, a \cdot (\sqrt[5]{10})^3, a \cdot (\sqrt[5]{10})^4, 10 \cdot a, \quad (3.2)$$

odnosno s vrijednostima danim s pet najznačajnijih znamenaka

$$a, 1,5849 \cdot a, 2,5119 \cdot a, 3,9811 \cdot a, 6,3096 \cdot a, 10 \cdot a. \quad (3.3)$$

Renardovom teorijom zamijenjene su gornje vrijednosti zaokruženim ali praktičnim vrijednostima, a on je kao a usvojio potenciju broja 10, pozitivnu, ništičnu ili negativnu. Na taj je način dobio sljedeći niz:

$$10 \quad 16 \quad 25 \quad 40 \quad 63 \quad 100 \quad (3.4)$$

koji se može nastavljati u oba smjera.

Prema HRN ISO 3:1997 definirani su normni brojevi, nazivlje vezano za normne brojeve, pojašnjenje i označavanje nizova normnih brojeva.

Definicija normnih brojeva. Normni su brojevi dogovorno zaokružene vrijednosti članova geometrijskih nizova koji uključuju cjelobrojne potencije broja 10, a kao kvocijente imaju brojeve

$$\sqrt[5]{10}, \sqrt[10]{10}, \sqrt[20]{10}, \sqrt[40]{10} \text{ i } \sqrt[80]{10} \quad (3.5)$$

sukladno tablicama 3.2. i 3.3. u kojima su normni brojevi navedeni za područje od 1 do 10. Nizovi normnih brojeva nisu ograničeni ni u jednom smjeru, vrijednosti članova u drugim dekadnim područjima dobivaju se množenjem vrijednosti u navedenim tablicama pozitivnim ili negativnim cjelobrojnim potencijama broja 10.

Nazivlje

Teorijske vrijednosti. Vrijednost proširenog člana

$$\left(\sqrt[5]{10}\right)^N, \left(\sqrt[10]{10}\right)^N \text{ itd.} \quad (3.6)$$

Računske vrijednosti. Vrijednosti s pomoću kojih su teorijske vrijednosti približno iskazane s 5 najznačajnijih znamenaka (vidi tablicu 3.2., stupac 7) (relativna pogreška računskih vrijednosti u usporedbi s teorijskim vrijednostima manja je od 1/20000).

Normni brojevi. Vrijednosti zaokružene sukladno sa stupcima R5, R10, R20, R40 i R80 (vidi tablicu 3.2., stupce od 1 do 4, i tablicu 3.3.).

Redni brojevi. Aritmetički niz uzastopnih brojeva koji pokazuju normne brojeve počevši s 0 za normni broj 1,00.

Označavanje nizova

Svi nizovi normnih brojeva imaju oznaku koja počinje slovom R (prema preporuci ISO u čast francuskog časnika Charlesa Renarda).

Temeljni nizovi R5, R10, R20 i R40. U uobičajenim slučajevima upotrebljavat će se ovi nizovi predloženi u tablici 3.2. Očito je da se oni razlikuju oznakama R5 – R10 – R20 – R40. Vrijednostima niza R5 mora se dati prednost s obzirom na niz

R10, ovome s obzirom na vrijednosti niza R20 i konačno na zadnjem mjestu vrijednostima niza R40. Navedene oznake dovoljne su za opis niza ako niz nije ograničen ni u jednom smjeru. Za ograničene nizove upotrebljava se sljedeći način iskazivanja radi označavanja granice:

- R10 (1,25 ...) – niz ograničen vrijednošću člana 1,25 (koji je uključen) kao donjom granicom,
- R20 (... 45) – niz ograničen vrijednošću člana 45 (koji je uključen) kao gornjom granicom,
- R40 (75 ... 300) – niz ograničen između vrijednosti članova 75 i 300 (uključujući i te dvije vrijednosti).

Izvanredni niz R80. Ovaj niz predložen je u tablici 3.3. Članovima temeljnih nizova daju se prednosti u odnosu na članove ovog niza.

Izvedeni nizovi. Nizovi koji se dobivaju izdvajanjem svakog drugog, trećeg, četvrtog ili p -tog člana osnovnog niza (vidi i tablicu 3.4.). Oni se razlikuju po oznaci koja odgovara temeljnom nizu iza koje se stavlja kosa razlomačka crta i broj 2, 3, 4... ili p . Ako je niz ograničen, ova oznaka treba obuhvaćati i prikaz graničnih članova koje treba uzeti u obzir, a ako niz nije ograničen, treba navesti barem jedan od članova niza.

Primjeri:

- R5/2 (1 ... 1.000.000) – niz ograničen članovima 1 i 1.000.000 koji uključuje i ova dva člana,
- R10/3 (... 80 ...) – niz neograničen u oba smjera, koji uključuje član 80,
- R20/4 (112 ...) – niz ograničen s donje strane članom 112 (koji je uključen),
- R40/5 (... 60) – niz ograničen s gornje strane članom 60 (koji je uključen).

Primjedba: Izvedeni niz R10/3 (1 ...), koji se dobiva iz 1 izdvajanjem svakog trećeg člana niza R10, sastoji se od sljedećih članova: 1, 2, 4, 8, 16, 31,5, Njegov je kvocijent približno jednak 2.

Općenito, ako je

r – indeks temeljnog niza $r = 5, 10, 20, 40$ ili 80,

p – uspon izvedenog niza, tj. broj koraka u temeljnom nizu koji je potreban za izgradnju izvedenog niza,

kvocijent izvedenog niza jednak je

$$10^{p/r}. \quad (3.7)$$

S druge strane, ako je N pozitivan cio broj, član za utvrđivanje izvedenog niza je

$$10^{N/40}, \quad (3.8)$$

a izvedeni niz označava se oznakom

$$R^{r/p} \left(\dots 10^{N/40} \dots \right). \quad (3.9)$$

Na kraju, ako je x bilo koji cio broj, pozitivan, ništica ili negativan, tada je bilo koji član izvedenog niza jednak

$$10^{N/40} \cdot 10^{(p/r) \cdot x} = 10^{(N/40 + px/r)}. \quad (3.10)$$

Tablica 3.4. Izvedeni redovi normnih brojeva

Glavni nizovi	Izvedeni nizovi					Približni faktor stupnjevanja	Porast u %
	R5/3	R10/6	R20/12	R40/24		4,00	300
	R5/2	R10/4	R20/8	R40/15		2,20	150
		R10/3	R20/6	R40/12		2,00	100
R5		R10/2	R20/4	R40/8		1,60	60
			R20/3	R40/6		1,40	40
R10			R20/2	R40/4		1,25	25
				R40/3		1,18	18
R20				R40/2		1,12	12
					(R80/3)*	1,09	9
R40						1,06	6
(R80)*						1,03	3

* Iznimni niz (masno tiskani nizovi imaju češću primjenu u praksi)

Ako bilo iz kojih razloga nije moguće primijeniti normne brojeve za sve članove, treba ih upotrebljavati samo za neke ili za one za koje je to moguće.

Ovako odabrani geometrijski nizovi objedinjuju prednosti dekadskog sustava i geometrijskog niza. Obuhvaćeni su svi temeljni brojevi dekadskog sustava (1, 10, 100, ...). U svakoj dekadi imaju jednak broj članova odnosno jednaku gustoću članova niza. Jednako položeni članovi pojedinih dekada razlikuju se samo u položaju decimalnog zareza:

1	1,6	2,5	4	6,3	10
10	16	25	40	63	100
100	160	250	400	630	1000

Jednako tako treba naznačiti da uporaba jednog jedinog stupnja porasta pri stupnjevanju neke veličine u strojarstvu može dovesti do neracionalnih normi, a time i do gubitka ekonomske opravdanosti. Zato se koriste kombinirani nizovi, s najmanjim stupnjem porasta u području najmasovnije uporabe stupnjevanje veličine.

3.5.2. Uporaba normnih brojeva i nizova normnih brojeva

Normne brojeve treba primjenjivati:

- za nazivne veličine i mjere kao što su tlak, snaga, promjer i slično;
- za veličine i mjere tipizacije kao: za snagu motora, nosivost dizalice, brzinu vrtnje i slično;
- za sklopne i položajne mjere dijelova strojeva;
- za priključne mjere cijevi, za sklopne mjere spojki, za visinske mjere kota ležaja strojeva, za temelje strojeva, za visinske mjere montaže i slično;
- za promjere dijelova strojeva i
- za druge veličine i mjere kao što su duljina, širina, visina i slično.

Radi ostvarivanja uštede potrebno je između mnogih geometrijskih nizova odabrati stalne, na temelju općih zahtjeva prakse. Ovi su zahtjevi uglavnom sljedeći:

- stalan postotni porast, odnosno pad članova niza;
- znamenke pojedinog člana se ponavljaju, bez obzira na decimalni zarez, jer se takav niz lako pamti;
- u niz treba uključiti brojeve 1, 10, 100, ...;
- u geometrijskom nizu s više članova moraju biti sadržani članovi nižeg niza.

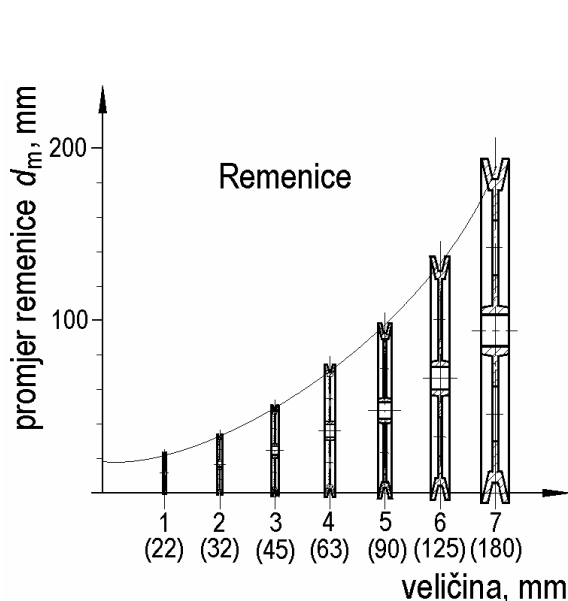
Na temelju iznijetog može se zaključiti da normni brojevi pružaju smjernice za sistematizaciju svih tehničkih veličina, a podesnim izborom ograničavaju se poluproizvodi, proizvodi, konstrukcijski i normizirani dijelovi, alati, naprave, mjerke i pribor na najmanji racionalno povoljni broj. Na taj način postiže se preglednija i jeftinija proizvodnja, pregledniji jeftiniji pogoni, jeftinije održavanje i izmjena pribora, naprava i alata. Ako se zadovolje razmjerno blagi zahtjevi koje postavljaju normni brojevi (izbor za sve veličine), bit će proračuni i svi ostali poslovi u tehničkim pogonima i uredima pojednostavljeni i znatno olakšani, a tehničko osoblje moći će lako pamtit i veličine, jer je za sve potrebno poznavati uglavnom 40 brojeva. Normni brojevi se najčešće upotrebljavaju pri:

- postavljanju tipskih nizova (obitelji) strojeva, brzina, učinka, snaga i slično;
- odabiru konstrukcijskih izmjera za promjere, duljine, vratila, osovine, vijke i slično;
- odabiru ostalih tehničkih veličina, kao npr. površine, obujma, težine i slično;
- izmjerama poluproizvoda, kao npr. limova, profila, cijevi, žice itd.

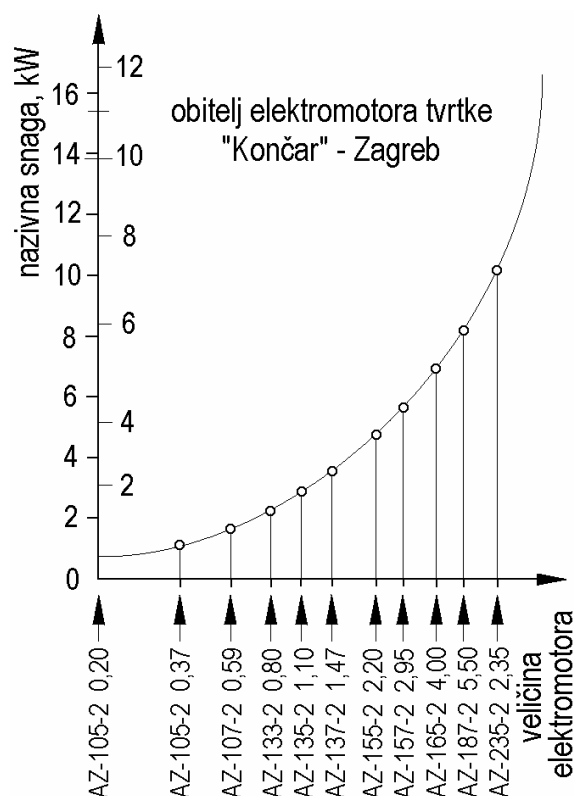
Slika 3.2. predstavlja niz normiziranih promjera klinastih (trapeznih) remenica. Standardni nazivni promjeri remenica d_m veličina 22, 32, 45, 63, 90, 125, 180, ... predstavljaju članove niza R20 počevši od člana s vrijednošću 2,24 pomnoženog s 10 i zaokruženog na cijeli broj.

Na slici 3.3. prikazane su različite veličine kaveznih zatvorenih elektromotora tipa AZ proizvedenih u tvornici "Končar" – Zagreb. Iz velikog broja ordinata koje

odgovaraju članovima niza R40, za snage elektromotora od 0,20 do 11 kW, proizvođač je za proizvodnju odabrao dvanaest veličina. Konstrukcijski, zbog mogućnosti primjene istih dijelova elektromotora i kod drugih tipova i veličina, nije moguće niti je nužno postići ravnomjerni raspored članova niza motora po apscisi (da veličine po snazi odgovaraju na primjer svakom petom članu niza). Ipak, i na ovaj način zadovoljen je osnovni uvjet normizacije, a to je svođenje broja mogućih veličina na razumni broj, koji optimalno zadovoljava najčešće potrebe. Ovako smanjenje broja vrsta i veličina osnovni je preduvjet za povećanje opsega pojedinih proizvodnih serija, a to je usko vezano za smanjenje proizvodnih i ostalih troškova.



Slika 3.2. Remenice za klinasto remenje



Slika 3.3. Različite veličine kaveznih zatvorenih elektromotora tipa AZ proizvedenih u tvornici "Končar" – Zagreb

Smanjenje broja vrsta i broja veličina proizvoda uvjet je za povećanje opsega pojedinih proizvodnih serija, što povlači smanjenje proizvodnih i ostalih troškova. Pri samom izboru vrsta proizvoda ide se na ostvarivanje takvog rješenja za određeni proizvod koje će pri uporabi najmanje količine najjeftinijeg materijala, uz minimalnu uloženu obradu, dati proizvod koji će uz odgovarajuću propisanu i garantiranu kvalitetu odgovarati postavljenom zadatku.

I osim niza pozitivnih primjera uporabe normnih brojeva, njih ipak nije moguće upotrebljavati baš u svakom slučaju. Primjer za to je zavojna opruga izrađena od žice okruglog presjeka, kod koje se moraju definirati sva tri promjera

opruge: unutarnji D_u , vanjski D_v i srednji D_s . Unutarnji promjer ovisan je o standardnom trnu na koji se namata žica. Promjer d žice slijedi iz proračuna i on se *mora* prilagoditi normama i bit će normni broj. Dakle, promjer trna i promjer žice određuju (nameću) vanjski i srednji promjer opruge. To su dobivene veličine koje se *ne mogu* (*i ne smiju*) zaokružiti niti na jedan normni broj. Slično je i kod cijevi za unutarnji i vanjski promjer, ovisno o debljini stijenke cijevi. Postoje tri moguće kombinacije veličina koje će se izraziti normnim brojevima:

- vanjski i unutarnji promjer,
- debljina stijenke i unutarnji promjer i
- debljina stijenke i vanjski promjer.

U inženjerskoj praksi često se proizvode konstrukcijski nizovi odnosno serije proizvoda koje su geometrijski slični, tj. različitih veličina (tipizacija). Zahvaljujući zakonitostima normnih brojeva moguće je za samo jedan primjer (original) u tom nizu proizvoda obaviti detaljno dimenzioniranje i oblikovanje, koje će onda vrijediti za čitav niz. Naravno, to vrijedi uz ispunjenje određenih uvjeta vezanih uz fizikalne veličine općenito, odnosno zakonitosti njihovih sličnosti koje proizlaze iz geometrijskih sličnosti.

Detaljne upute o uporabi normnih brojeva i nizova normnih brojeva dane su u normi HRN ISO 17:1997, detaljne upute za odabir nizova normnih brojeva i nizova koji sadrže zaokružene vrijednosti normnih brojeva dane su u normi HRN ISO 497:1997.

4. Tolerancije, dosjedi i tekstura (hrapavost) površina

Tolerances, Fits and Surface Texture

4.1. Općenito o tolerancijama

Dok se u pojedinačnoj proizvodnji ili nekom remontu stroja može u montaži dopustiti tzv. podešavanje i prilagodba dijelova koji trebaju raditi skupa, u serijskoj ili masovnoj proizvodnji suvremena tehnika i tehnologija to ne dopuštaju. Dakle, svaki bi strojni dio trebao biti proizveden tako da pristaje uz svoj pripadajući dio bez ikakve dorade, što uvjetuje uvođenje nekog sustava u smislu točnosti izmjera i željenog dosjeda. Ovaj zahtjev osobito je naglašen specijaliziranjem proizvodnje u kojoj se često sklapaju u strojnu cjelinu proizvodi različitih tvornica. Dotrajali se dijelovi također moraju moći izmijeniti bez dopunske obrade i drugih poteškoća, a prilikom remonta moraju pristajati na stroj bez podešavanja.

Bilo bi negospodarski i nemoguće zahtijevati izmjenjivost dijelova uz održavanje apsolutno jednakih izmjera propisanih izmjerom. Takvu točnost onemogućava proizvodnja, jer je praktički nemoguće izraditi dvije potpuno jednake izmjere koje bi se poklapale na dijelove tisućeg dijela milimetra. Ako se to ipak dogodi, radi se o slučajnosti, a ne o zahtjevu proizvodnje. Osim toga, visoka točnost nije ekonomična jer znatno poskupljuje proizvodnju. Zbog tih razloga industrijska proizvodnja odavno dopušta da se dijelovi koji rade skupa i daju dosjed stanovitog značenja izrađuju unutar dviju graničnih izmjera, tj. sa stanovitim dopuštenim odstupanjima, tzv. tolerancijama. Ovim tolerancijama, koje su sastavni dio izmjere, propisano je koliko se i u kojem smjeru može odstupati od nazivne ("točne") izmjere navedene kotom na tehničkom crtežu, a da se ipak održi željeni dosjed i osigura izmjenjivost strojnih dijelova.

Primjena proizvodnje u određenim granicama točnosti prvo je započela u proizvodnji oružja i streljiva. To je tipičan primjer masovne proizvodnje gdje su zahtjevi točnosti najviše izraženi. Zahtjev je bio: osigurati izmjenjivost dijelova i dosjedanje svakog streljiva u svako oružje istog tipa (kalibra). Ova načela brzo su našla put iz vojne industrije u proizvodnji vozila, strojeva itd., tako da danas nema značajnije tvornice koja ih ne primjenjuje. U početku su pojedine tvornice, a kasnije i pojedine države, razvijale svoje sustave tolerancija. Razlike u sustavima bile su tako velike da ih je hitno trebalo uskladiti. Na temelju iskustava pojedinih država donesene su međunarodne norme za tolerancije kojima su zamijenjeni svi propisi o tolerancijama i dosjedima pojedinih država (ISO 286).

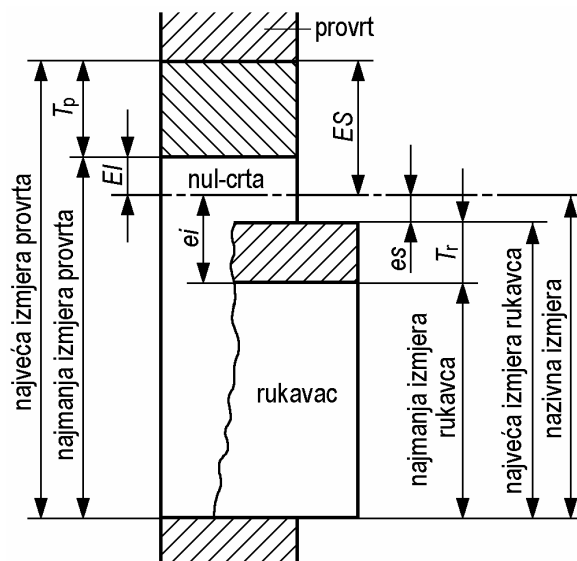
4.2. Osnovni pojmovi

Izrazi za tolerancije i dosjede, kao i tolerancijske oznake (simboli) usklađeni su s međunarodnom normom ISO 286. Tolerancijski sustav vrijedi prije svega za glatke kovinske izratke s valjkastim naliježnim ploham (npr. provrt i rukavac), no

može se rabiti i za nevaljkaste dijelove, tj. za izratke s paralelnim spojnim ploham (npr. širina utora i debljina pera).

Radi razumijevanja tolerancija potrebno je najprije razjasniti osnovne pojmove koji su vezani za izmjera, odnosno slike 4.1., 4.2., 4.3. i 4.4.

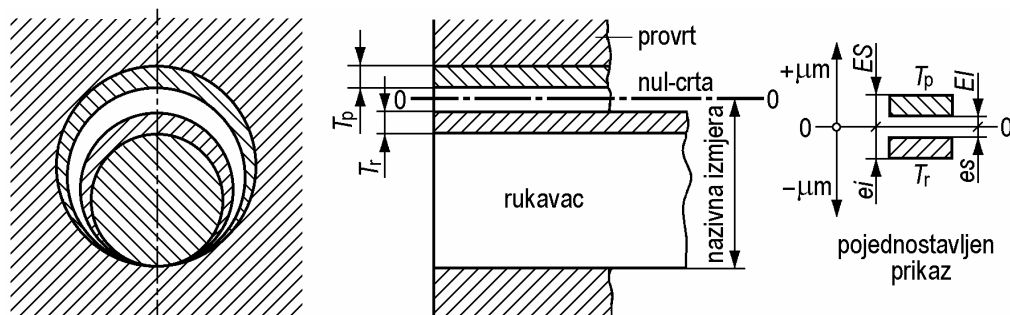
- **Izmjera** je izmjerena vrijednost fizikalne veličine *duljine* za odmjeravanje različitih vrijednosti te veličine. Temeljna temperatura pri određivanju izmjera u sustavu graničnih izmjera i dosjeda ISO, tzv. referentna temperatura, je 20°C.
- **Nazivna izmjera** je izmjera od koje se dobivaju granične izmjere ako joj se dodaju gornje ili donje odstupanje izmjere. Nazivna izmjera može biti cijeli (npr. 85 mm) ili decimalni broj (npr. 8,75 mm). To je izmjera koja se kao izmjera unosi u tehnički crtež (ili nominalna izmjera predložena kotom).
- **Granične izmjere** jesu ukupno dopuštene izmjere oblikovanog elementa, između kojih (uključujući i njih same) mora biti i stvarna izmjera.
- **Stvarna izmjera** je izmjera koja se dobiva mjerenjem na izrađenom strojnom dijelu (s takvom točnošću da se može bitna pogreška mjerenja smije zanemariti, npr. 85,22 mm). Ova izmjera mora biti unutar dopuštenih graničnih izmjera strojnog dijela. U protivnom se strojni dio ili dorađuje ili se odbacuje kao škart.



Slika 4.1. Definicija osnovnih pojmova tolerancija izmjera

- **Najveća izmjera** je najveća dopuštena izmjera nekog oblikovanog elementa.
- **Najmanja izmjera** je najmanja dopuštena izmjera nekog oblikovanog elementa.
- **Sustav graničnih izmjera** je sustav normiranih tolerancija i odstupanja izmjera.
- **Nul-crta** je pri grafičkom prikazu graničnih izmjera i dosjeda crta koja odgovara nazivnoj izmjeri na koju se nanose odstupanja izmjera i tolerancija

(slika 4.1.).

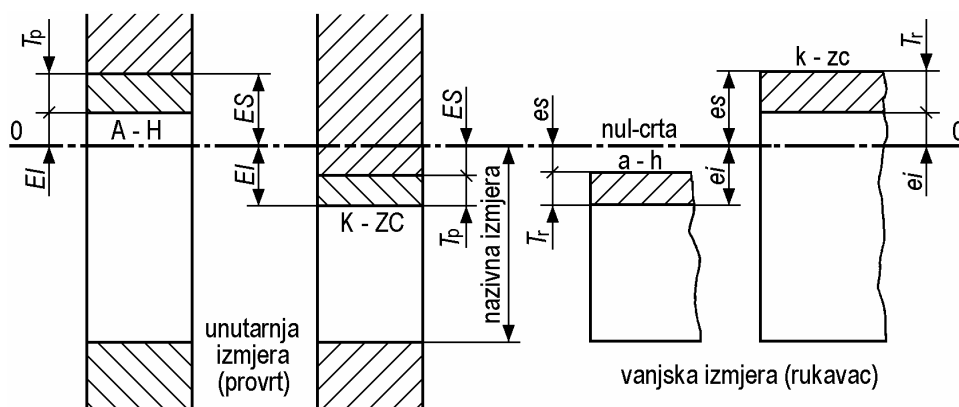


Slika 4.2. Pojam tolerancija i pojednostavljeno prikazivanje

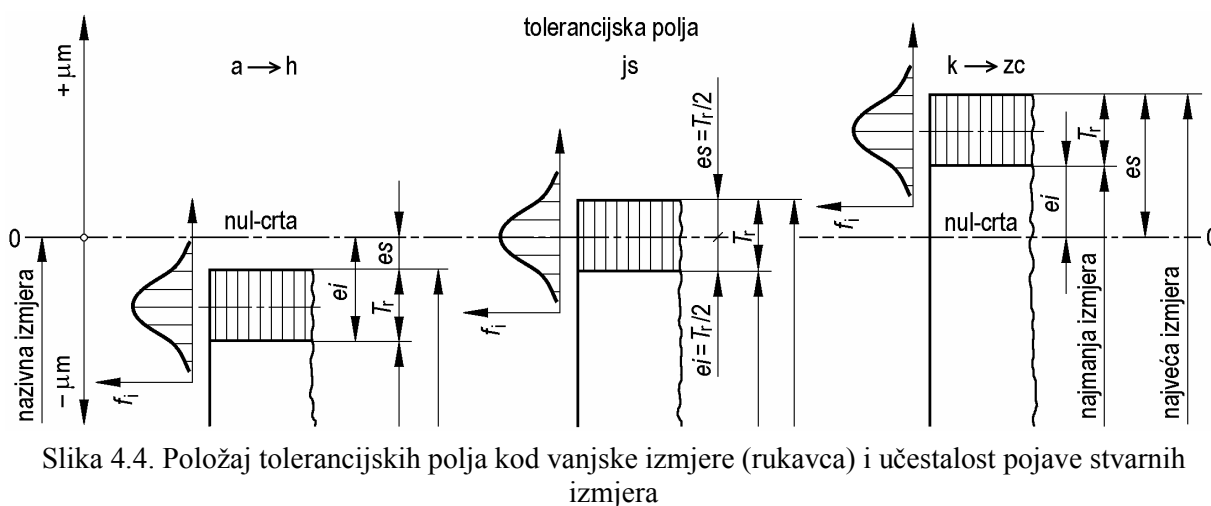
- **Odstupanje izmjere** je razlika između stvarne i nazivne izmjere, npr.: $85,22 - 85 = +0,22$, a može biti ili pozitivna ili negativna. Postoje dva granična odstupanja izmjera:
- **Gornje odstupanje izmjere** (ES za provrt, es za rukavac) je razlika između najveće izmjere i pripadne joj nazivne izmjere, npr.: $85,58 - 85 = +0,28$. I ovo odstupanje može biti ili pozitivno ili negativno (prije se označavalo s A_g ili a_g).
- **Donje odstupanje izmjere** (EI za provrt, ei za rukavac) je razlika između najmanje izmjere i pripadne joj nazivne izmjere, npr.: $84,90 - 85 = -0,1$. I ovo odstupanje može biti ili pozitivno ili negativno (prije se označavalo s A_d ili a_d).
- **Temeljno odstupanje izmjere** u sustavu graničnih izmjera i dosjeda ISO takvo je odstupanje izmjere koje se od nul-crte proteže do tolerancijskog polja (slika 4.1.). To može biti ili gornje ili donje odstupanje izmjere, tj. ono odstupanje izmjere koje je bliže nul-crti.
- **Tolerancijska izmjera** (T)³ (kraće **tolerancija**) je razlika između najveće i najmanje izmjere, ali također i razlika između gornjeg i donjeg odstupanja izmjere. Tolerancija je apsolutna vrijednost i zato je bez predznaka.
- **Tolerancijsko polje** u grafičkom prikazu predstavlja područje između crta koje predstavljaju najveću i najmanju izmjeru. Tolerancijsko polje određeno je veličinom tolerancije i njezinom udaljenošću od nul-crte (slike 4.1. i 4.3.). U praksi se obradni strojevi i alati podešavaju tako da se stvarna izmjera nakon izrade nađe u sredini tolerancijskog polja, odnosno tako da je stvarna izmjera srednja vrijednost s obzirom na granične izmjere. Iako pri izradi dijelova neke izmjere odstupaju od srednje vrijednosti, ipak se najveći broj izmjera izvodi sa srednjim vrijednostima kako to pokazuje raspodjela stvarnih izmjera, odnosno učestalost njihove pojave (slike 4.4. i 4.5.). Nastoji se da učestalost graničnih izmjera bude što manja. Oblik funkcije raspodjele stvarnih izmjera može biti različit, odnosno točka gomilanja može biti u sredini, lijevo ili desno pomaknuta. Tehnološki je proces ekonomski bolji ako je raspodjela simetrična u odnosu na sredinu tolerancijskog polja. Ocjena raspodjele stvarnih izmjera

³ U ovom udžbeniku koriste se radi lakšeg razumijevanja i oznake T_p za provrt odnosno T_r za rukavac.

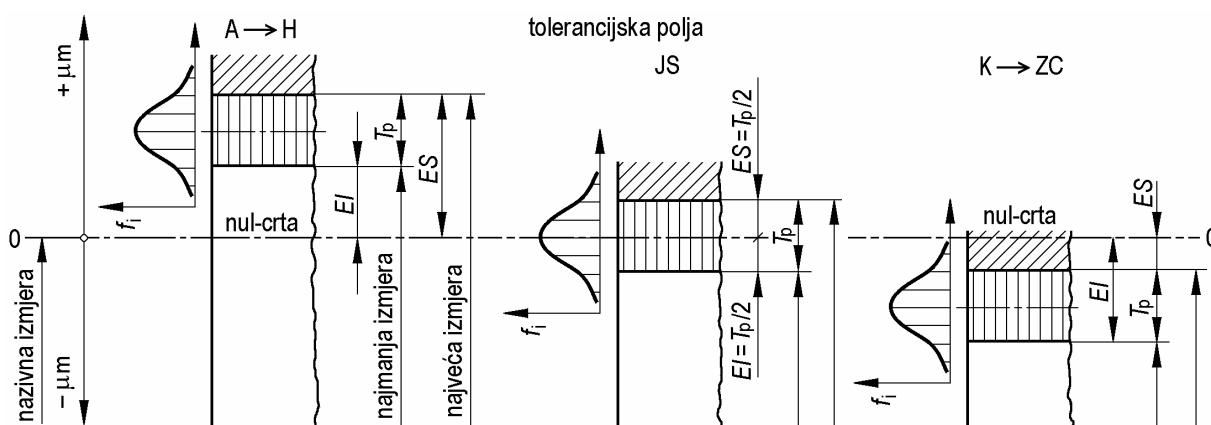
provodi se primjenom normalne ili Gaussove raspodjele i metodom statističke matematike.



Slika 4.3. Pojam donjih i gornjih odstupanja izmjere kod provrta i rukavca

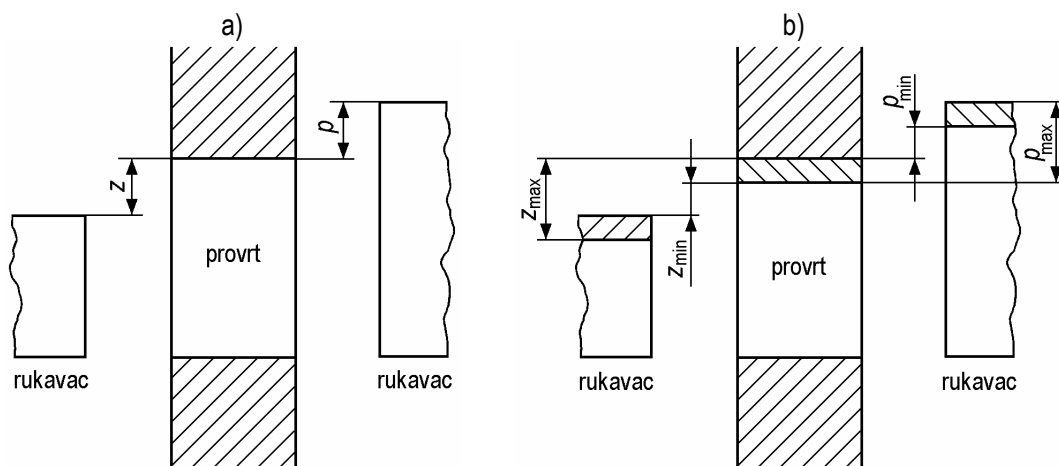


Slika 4.4. Položaj tolerancijskih polja kod vanjske izmjere (rukavca) i učestalost pojave stvarnih izmjera



Slika 4.5. Položaj tolerancijskih polja kod unutarnje izmjere (provrt) i učestalost pojave stvarnih izmjera

- **Temeljna tolerancija** (IT)⁴ u sustavu graničnih izmjera i dosjeda ISO jest svaka tolerancija koja spada u sustav.
- **Niz temeljnih tolerancija** u sustavu graničnih izmjera i dosjeda ISO jest skupina tolerancija s točno priređenim tolerancijama za svaku nazivnu izmjeru. Sustav sadrži 20 stupnjeva temeljnih tolerancija s oznakama IT01, IT0 i IT1 do IT18 za područja nazivnih izmjera 0 do zaključno 500 mm i 18 stupnjeva temeljnih tolerancija s oznakama IT1 do IT18 za područja nazivnih izmjera iznad 500 do zaključno 3150 mm.
- **Tolerancijski razred** naziv je za spoj slova temeljnog odstupanja izmjere s brojem stupnja temeljne tolerancije, npr. H7 (provrt), h7 (rukavac).
- **Tolerancijska izmjera** sastoji se od nazivne izmjere i oznake odgovarajućeg tolerancijskog razreda (npr. 32 H7, 80 js15, 100 g6) ili od nazivne izmjere i odstupanja



Slika 4.6. Pojam dosjeda (a – bez tolerancija, b – s tolerancijama)

- **Provrt** je unutarnja izmjera vanjskog dijela u dosjedu.
- **Rukavac** je vanjska izmjera unutarnjeg dijela u dosjedu.
- **Dosjed** je skladnost dobivena na temelju razlike izmjera dvaju spojno oblikovanih elemenata (provrt i rukavca). Dva dosjedu pripadajuća dosjedna dijela imaju jednaku nazivnu izmjeru (slika 4.6.).
- **Zračnost (zazor)** (z) je pozitivna razlika između izmjere provrta i izmjere rukavca prije spajanja, sastavljanja, ako je promjer rukavca manji od promjera provrta (slika 4.6.a – bez tolerancija i slika 4.6.b – s tolerancijama).
- **Prisnost** (p) je negativna razlika između izmjere provrta i izmjere rukavca prije spajanja, ako je promjer rukavca veći od promjera provrta (slika 4.6.a – bez tolerancija i 4.6.b – s tolerancijama).
- **Dosjedna tolerancija** je aritmetička sredina tolerancija obaju oblikovanih elemenata, a pripada (jednom) dosjedu. Dosjedna tolerancija je apsolutna vrijednost, bez predznaka.

⁴ Kratica od International Tolerance ("International Tolerance" grade prema ISO 286).

- **Sustav tolerancija** je planski i izrađen red dosjeda s različitim zračnostima i prisnostima.

Pravilo je da se tolerancije duljinskih izmjera navode u milimetrima, pa nije potrebno navoditi jedinicu mjere. U primjeru tolerancija kutova potrebno je navesti o kojim se jedinicama mjere radi: stupnjevi, minute ili sekunde (npr.: $60^\circ \pm 15'$ ili $5^\circ \pm 30''$).

4.3. Osnove ISO-sustava tolerancija duljinskih izmjera

Za praktičku primjenu i za pravilno funkcioniranje strojnih dijelova važne su tolerancije dijelova u dosjedu. Za istu kvalitetu nekog dosjeda tolerancija mora biti razmjerna veličini izmjere, tj. izražena u postocima od izmjere ona mora biti za isti karakter dosjeda praktički jednaka. Iz tog se razloga kod ISO-sustava tolerancija svake kvalitete mijenja u zavisnosti od nazivne izmjere. Ova zavisnost izražava se standardnim tolerancijskim koeficijentom⁵ i za nazivne izmjere od 1 do zaključno 500 mm, odnosno I za nazivne izmjere iznad 500 do zaključno 3150 mm. Izračunavaju se po sljedećim formulama

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D \quad (4.1)$$

$$I = 0,004 \cdot D + 2,1 \quad (4.2)$$

gdje je D geometrijska sredina graničnog područja nazivnih izmjera u mm.

Nazivna područja izmjera podijeljena su u glavna i lokalna područja. Lokalna područja rabe se samo u iznimnim (specijalnim) slučajevima pri izračunavanju temeljnih tolerancija i temeljnih odstupanja izmjera **a** do **c** i **r** do **zc** za rukavce, odnosno **A** do **C** i **R** do **ZC** za provrte.

Vrijednosti temeljnih tolerancija i temeljnih odstupanja izmjere za svako područje nazivnih izmjera izračunavaju se iz geometrijske srednje vrijednosti D graničnih područja D_1 i D_2 (prema ISO 128-1)

$$D = \sqrt{D_1 \cdot D_2} \quad (4.3)$$

Za prvo područje nazivnih izmjera (do zaključno 3 mm) uzima se geometrijska sredina D između 1 i 3 mm, zbog čega je $D = 1,732$ mm.

Za svaku nazivnu izmjeru praktično se ne računa vrijednost standardnog tolerancijskog koeficijenta, već se koriste tablice u kojima su nazivne izmjere svrstane u područja u kojima su one stupnjevane po geometrijskom nizu. Područja nazivnih izmjera (npr. promjera) do 500 mm jesu:

⁵ standard tolerance factor (ISO 286)

D_1	-	3)	6)	10)	18)	30)	50)	80)	120)	180)	250)	315)	400)
D_2	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500

gdje je: D_1 - početak područja, D_2 - kraj područja

Za neke dosjede s većom zračnosti i prisnosti uvedeno je međupodručje i stupanj podijeljen na dva. Tolerancije u ovim tablicama izračunate su za sredinu područja D prema formuli (4.3.). Npr. za područje nazivnih izmjera između 30 i 50 mm sredina područja je $D = 38,730$ mm. Razlike u tolerancijama za sve ostale nazivne izmjere unutar ovog područja praktično su zanemarive.

Tolerancijski koeficijenti i izračunati pomoću formule (4.1.) dani su za područje izmjera do 500 mm u tablici 4.1., a za područje izmjera od 500 do 3150 mm u tablici 4.2.

Tablica 4.1. Nazivne izmjere do 500 mm i tolerancijski koeficijent i

Nazivne izmjere, mm	-3	3)-6	6)-10	10)-18	18)-30	30)-50	50)-80	80)-120	120)-180	180)-250	250)-315	315)-400	400)-500
$i, \mu\text{m}$	0,6	0,75	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,2	3,6	4,0

Tablica 4.2. Nazivne izmjere od 500 mm do 3150 mm i tolerancijski koeficijent I

Nazivne izmjere, mm	500)-630	630)-800	800)-1000	1000)-1250	1250)-1600	1600)-2000	2000)-2500	2500)-3150
$I, \mu\text{m}$	4,4	5,0	5,6	6,6	7,8	9,2	11,0	13,2

Veličina tolerancijske izmjere T za različite stupnjeve temeljne tolerancije IT i nazivne izmjere do 500 mm dobiva se prema tablici 4.3. i moguće ju je zaokružiti na cijeli broj.

Tablica 4.3. Vrijednosti temeljnih tolerancija za nazivne izmjere do 500 mm

IT	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$T, \mu\text{m}$	izraz (4.4)	izraz (4.5)	izraz (4.6)	*	*	*	$7i$	$10i$	$16i$	$25i$
IT	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$T, \mu\text{m}$	$40 \cdot i$	$64 \cdot i$	$100 \cdot i$	$160 \cdot i$	$250 \cdot i$	$400 \cdot i$	$640 \cdot i$	$1000 \cdot i$	$1600 \cdot i$	$2500 \cdot i$

*Za temeljne tolerancije IT2, IT3 i IT4 vrijednosti T su geometrijski stupnjevano između temeljnih tolerancija IT1 i IT5.

Iz tablice 4.3. vidljivo je da za temeljne tolerancije IT01, IT0 i IT1 vrijedi iznimka, tako da se u ovim slučajevima tolerancijski koeficijent i izračunava pomoću sljedećih formula:

$$\text{za IT01} \quad i = 0,3 + 0,008 \cdot D \quad (4.4)$$

$$\text{za IT0} \quad i = 0,5 + 0,012 \cdot D \quad (4.5)$$

$$\text{za IT1} \quad i = 0,8 + 0,020 \cdot D \quad (4.6)$$

Veličina tolerancijske izmjere za nazivne izmjere od 500 do 3150 mm može se izračunati jednako kao i za izmjere do 500 mm, s tom razlikom što se tolerancijski

koeficijent označava s I i izračunava pomoću formule (4.2.). Dobivene vrijednosti I za pojedina područja nazivnih izmjera dane su u tablici 4.4.

Veličina tolerancijske izmjere T za različite stupnjeve temeljne tolerancije IT i nazivne izmjere od 500 do 3150 mm dobiva se iz tablice 4.4. Izračunate veličine T mogu se zaokružiti na cijeli broj, a veličine tolerancijskih izmjera T sređene su i grupirane u tablicama 4.5. i 4.6.

Tablica 4.4. Vrijednosti temeljnih tolerancija za nazivne izmjere od 500 do 3150 mm

IT	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$T, \mu\text{m}$	-	-	$2 \cdot I$	$2,7 \cdot I$	$3,7 \cdot I$	$5 \cdot I$	$7 \cdot I$	$10 \cdot I$	$16 \cdot I$	$25 \cdot I$
IT	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$T, \mu\text{m}$	$40 \cdot I$	$64 \cdot I$	$100 \cdot I$	$160 \cdot I$	$250 \cdot I$	$400 \cdot I$	$640 \cdot I$	$1000 \cdot I$	$1600 \cdot I$	$2500 \cdot I$

Tablica 4.5. Vrijednosti temeljnih tolerancija za stupnjeve temeljnih tolerancija od IT1 do IT18 za nazivne izmjere do 3150 mm

Nazivna izmjera, mm		Stupanj temeljne tolerancije																		
		IT1 ²	IT2 ²	IT3 ²	IT4 ²	IT5 ²	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 ³	IT15 ³	IT16 ³	IT17 ³	IT18 ³	
od	do	Temeljne tolerancije																		
		μm												mm						
-	3 ³	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4	
3)	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8	
6)	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2	
10)	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7	
18)	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3	
30)	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9	
50)	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6	
80)	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4	
120)	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3	
180)	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2	
250)	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1	
315)	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9	
400)	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7	
500)	630 ²	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11	
630)	800 ²	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5	
800)	1000 ²	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14	
1000)	1250 ²	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5	
1250)	1600 ²	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5	
1600)	2000 ²	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23	
2000)	2500 ²	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28	
2500)	3150 ²	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33	

1) Vrijednosti za stupnjeve temeljne tolerancije IT01 i IT0 za nazivne izmjere do uključivo 500 mm dane su u tablici 4.6.

2) Vrijednosti za stupnjeve temeljnih tolerancija od IT1 do uključivo IT5 za nazivne izmjere više od 500 mm rabiti samo za pokusne svrhe.

3) Stupnjevi temeljnih tolerancija od IT14 do uključivo IT18 ne smiju se rabiti za vrijednosti nazivne izmjere do uključivo 1 mm.

Tablica 4.6. Vrijednosti temeljnih tolerancija za stupnjeve temeljnih tolerancija IT01 i IT0

T, μm	Nazivne izmjere, mm												
	do 3	3)-6	6)-10	10)-18	18)-30	30)-50	50)-80	80)-120	120)-180	180)-250	250)-315	315)-400	400)-500
IT01	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1,2	2	2,5	3	4
IT0	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6

Za izbor stupnja temeljne tolerancije mogu poslužiti sljedeće iskustvene preporuke:

- IT01 ... IT4 - za precizni mjerni pribor,
- IT5 ... IT7 - za mjerni pribor radioničke kontrole i najfinije dosjede,

- IT6 ... IT9 - za fini dosjed,
- IT7 ... IT10 - za prosječno dosjedanje,
- IT9 ... IT11 - za grubo dosjedanje i
- IT12 ... IT18 - za izmjere i površine koji nisu u dosjedu (npr. kovani ili valjani dijelovi).

4.3.1. Položaj i označavanje tolerancijskih polja

Položaj tolerancijskih polja određuje temeljno odstupanje koje se označava s obzirom na nul-crtu slovima abecede (međunarodne), i to:

za vanjske izmjere (rukavca) – malim slovima abecede (slika 4.7.):

a b c cd d e ef f fg g h j (js) k m n p r s t u v x y z za zb zc

za unutarnje izmjere (provrt) – velikim slovima abecede (slika 4.8.):

A B C CD D E EF F FG G H J (JS) K M N P R S T U V X Y Z ZA ZB ZC

Položaj tolerancijskog polja označen s navedenim slovima određen je jednim od graničnih odstupanja koja su na slikama 4.7. i 4.8. označena kao donje ili gornje odstupanje izmjere (*es*, *ei*, *ES*, *EI*).

Radi nesporazuma izostavljena su sljedeća slova: T, i, L, l, O, o, Q, q, W i w.

Položaji tolerancijskih polja cd, ef i fg za vanjske odnosno CD, EF i FG za unutarnje izmjere rabe se za nazivne izmjere do 10 mm.

Oznaku tolerancije duljinske izmjere čini tolerancijski razred, tj. kombinacija simbola za temeljno odstupanje i temeljnu toleranciju, tj. položaj i veličinu tolerancijskog polja. Tako npr. oznaku $\varnothing 80F8$ ili $\varnothing 40h7$ čine nazivne izmjere $\varnothing 80$ odnosno $\varnothing 40$, položaj tolerancijskog polja **F** za provrt odnosno **h** za rukavac i stupanj temeljne tolerancije IT8 odnosno IT7.

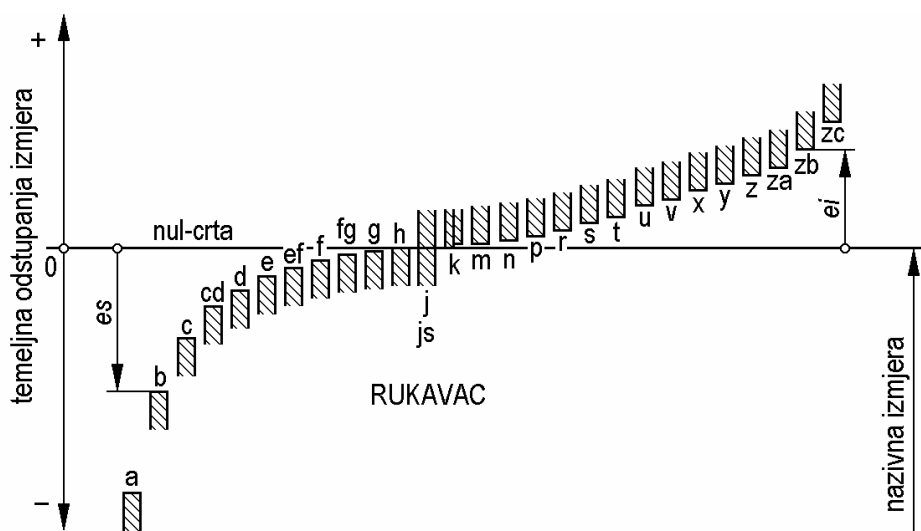
Na osnovi nazivne izmjere i temeljnog odstupanja označenog slovom **F** odnosno **h** određuje se jedno od odstupanja izmjere (slike 4.7. i 4.8. te tablice 4.7. i 4.8.). Dodavanjem tolerancijske izmjere *T*, tj. temeljne tolerancije (tablice 4.7. i 4.8.), određuje se drugo odstupanje izmjere. Oba ova odstupanja (gornje i donje) za izabrani položaj tolerancijskih polja i za izabrane stupnjeve temeljnih tolerancija daju se tablično za područja nazivnih izmjera, čime se postupak određivanja graničnih odstupanja pojednostavnjuje.

Položaj tolerancijskog polja u odnosu na nul-crtu, i za vanjsku i za unutarnju izmjeru, može se definirati u nekoliko osnovnih slučajeva.

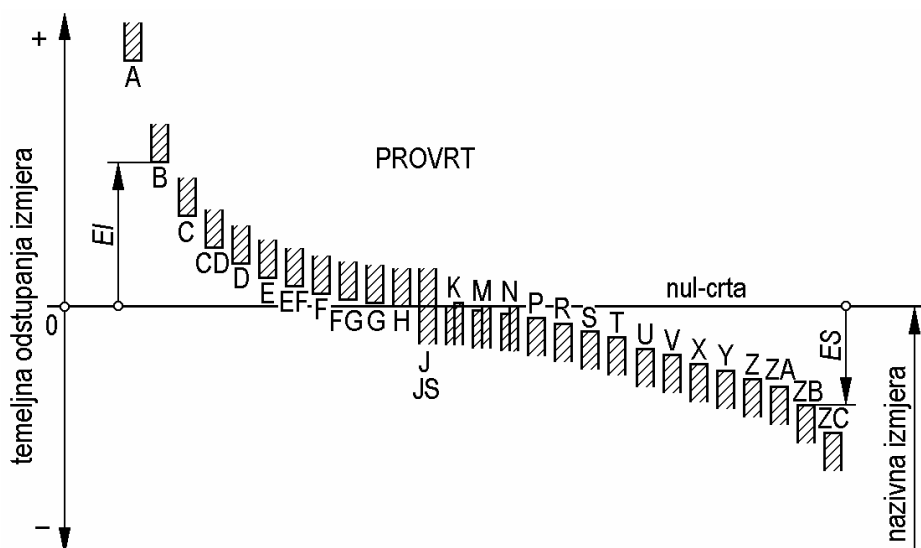
Tolerancijsko polje leži iznad nul-crte (slike 4.4. i 4.5., odnosno slike 4.7. i 4.8.) pa je stvarna izmjera, koja treba biti unutar tolerancijskog polja, veća od nazivne izmjere, odnosno:

$$\begin{aligned} es > 0 \text{ i } ei > 0 & \text{ za vanjske izmjere i} \\ ES > 0 \text{ i } EI > 0 & \text{ za unutarnje izmjere.} \end{aligned}$$

U ovom se položaju nalaze tolerancijska polja od **m** do **zc** vanjske izmjere odnosno od **A** do **G** za unutarnje izmjere.



Slika 4.7. Položaj tolerancijskih polja za vanjske izmjere (rukavce)



Slika 4.8. Položaj tolerancijskih polja za unutarnje izmjere (provrt)

Tolerancijsko polje leži s gornje strane, i to na nul-crti, tako da je donje odstupanje izmjere jednako nazivnoj izmjeri (slike 4.7. i 4.8.), a stvarna će izmjera biti jednaka ili veća od nazivne izmjere

$$es > 0 \text{ i } ei = 0 \text{ za vanjske izmjere i}$$

$$ES > 0 \text{ i } EI = 0 \text{ za unutarnje izmjere.}$$

U ovom se položaju nalazi tolerancijsko polje **k** za vanjske izmjere odnosno **H** za unutarnje izmjere.

Tolerancijsko polje leži s obje strane nul-crte, simetrično ili nesimetrično (slike 4.4. i 4.5., odnosno slike 4.7. i 4.8.). Stvarna izmjera može biti veća, jednaka ili manja od nazivne izmjere

$$\begin{aligned} es > 0 \text{ i } ei < 0 & \text{ za vanjske izmjere i} \\ ES > 0 \text{ i } EI < 0 & \text{ za unutarnje izmjere.} \end{aligned}$$

U ovom se položaju nalaze tolerancijska polja **j** i **js** za vanjske izmjere odnosno **J** i **JS** (svi slučajevi) i **K** (neki slučajevi) za unutarnje izmjere. Polja **js** i **JS** simetrična su u odnosu na nul-crtu.

Tolerancijsko polje leži s donje strane na nul-crtu, tako da je gornje odstupanje izmjere jednako nazivnoj izmjeri (slike 4.7. i 4.8.). Stvarna će izmjera biti jednaka ili manja od nazivne izmjere

$$\begin{aligned} es = 0 \text{ i } ei < 0 & \text{ za vanjske izmjere i} \\ ES = 0 \text{ i } EI < 0 & \text{ za unutarnje izmjere.} \end{aligned}$$

U ovom se položaju nalazi tolerancijsko polje **h** za vanjske izmjere odnosno polja od **K** do **N** (neki slučajevi) za unutarnje izmjere.

Tolerancijsko polje leži ispod nul-crte (slike 4.4. i 4.5., odnosno slike 4.7. i 4.8.). Stvarna će izmjera biti manja od nazivne izmjere

$$\begin{aligned} es < 0 \text{ i } ei < 0 & \text{ za vanjske izmjere i} \\ ES < 0 \text{ i } EI < 0 & \text{ za unutarnje izmjere.} \end{aligned}$$

U ovom se položaju nalaze tolerancijska polja od **a** do **g** za vanjske izmjere i od **P** do **ZC** za unutarnje izmjere.

U tablicama od 4.7. do 4.8. navedene su brojčane vrijednosti temeljnih odstupanja izmjera za rukavce (es , ei), odnosno provrte (ES , EI), ovisno o području nazivne izmjere i stupnju temeljne tolerancije.

Iz prethodno izloženog može se zaključiti da ISO-sustav tolerancija obuhvaća sva tolerancijska polja od **a** do **zc** i od **A** do **ZC** te svako sa svim temeljnim tolerancijama od IT01 do IT18. Međutim, s obzirom na praktičnu potrebu da broj mjerila bude što manji, u praksi se upotrebljava samo nekoliko najprikladnijih tolerancijskih polja.

Tablica 4.7. Brojčane vrijednosti temeljnih odstupanja izmjera za rukavce

Nazivna izmjera, mm		Vrijednosti temeljnih odstupanja izmjera, μm												Donje odstupanje izmjere ei		
		Gornje odstupanje izmjere es												IT5 i IT6		
		Svi stupnjevi temeljnih tolerancija												IT7 IT8		
od	do	a ¹⁾	b ¹⁾	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js ²⁾	j		
-	3 ¹⁾	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	Odstupanja $\pm ITn/2$, gdje je n brojčana vrijednost IT	-2	-4	-6
3	6			-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	
6	10	-280		-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-4	
10	14		-150	-95		-50	-32		-16		-6	0		-3	-6	
14	18	-290														
18	24					-65	-40		-20		-7	0		-4	-8	
24	30	-300	-160	-150												
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0		-5	-10	
40	50	-320	-180	-130												
50	65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0		-7	-12	
65	80	-360	-200	-150												
80	100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0		-9	-15	
100	120	-410	-240	-180												
120	140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0		-11	-18	
140	160	-520	-280	-210												
160	180	-580	-310	-230												
180	200	-660	-340	-240		-170	-100		-50		-15	0		-13	-21	
200	225	-740	-380	-260												
225	250	-820	-420	-280		-190	-110		-56		-17	0		-16	-26	
250	280	-920	-480	-300												
280	315	-1050	-540	-330		-210	-125		-62		-18	0		-18	-28	
315	355	-1200	-600	-360												
355	400	-1350	-680	-400		-230	-135		-68		-20	0		-20	-32	
400	450	-1500	-760	-440												
450	500	-1650	-840	-480		-260	-145		-76		-22	0				
500	560															
560	630					-290	-160		-80		-24	0				
630	710															
710	800					-320	-170		-86		-26	0				
800	900															
900	1000					-350	-195		-98		-28	0				
1000	1120															
1120	1250					-390	-220		-110		-30	0				
1250	1400															
1400	1600					-430	-240		-120		-32	0				
1600	1800															
1800	2000					-480	-260		-130		-34	0				
2000	2240															
2240	2500					-520	-290		-145		-38	0				
2500	2800															
2800	3150															

¹⁾ Temeljno odstupanje a i b ne smije se rabiti za nazivne izmjere do uključivo 1 mm.

²⁾ Kod tolerancijskih razreda od js7 do js11 može se brojčana vrijednost IT n, ako je neparna brojka, zaokružiti na prvu donju parnu, tako da je dobiveno odstupanje izmjere, tj. $\pm ITn/2$ cijela brojka u μm .

Tablica 4.7. Brojčane vrijednosti temeljnih odstupanja izmjera za rukavce (nastavak)

Nazivna izmjera, mm		Vrijednosti temeljnih odstupanja izmjera, μm															
		Donje odstupanje izmjere															
		e_i															
		IT4 do IT7	do IT3 i od IT7	Svi stupnjevi temeljnih tolerancija													
od	do	k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
-	3	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60
3	6	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80
6	10	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97
10	14	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130
14	18																
18	24	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24	30																
30	40	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43		+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200
40	50																
50	65	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80																
80	100	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120																
120	140	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160																
160	180	+4	0	+17	+31	+50	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
180	200																
200	225	+4	0	+20	+34	+56	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
225	250																
250	280	+4	0	+21	+37	+62	+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
280	315																
315	355	+4	0	+23	+40	+68	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
355	400																
400	450	+5	0	+26	+44	+78	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
450	500																
500	560	+5	0	+27	+45	+75	+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
560	630																
630	710	+5	0	+28	+46	+76	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
710	800																
800	900	+5	0	+29	+47	+77	+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600
900	1000																
1000	1120	+5	0	+30	+48	+78	+150	+280	+400	+600							
1120	1250																
1250	1400	+5	0	+31	+49	+79	+155	+310	+450	+660							
1400	1600																
1600	1800	+5	0	+32	+50	+80	+175	+340	+500	+740							
1800	2000																
2000	2240	+5	0	+33	+51	+81	+185	+380	+560	+840							
2240	2500																
2500	2800	+5	0	+34	+52	+82	+210	+430	+620	+940							
2800	3150																

Tablica 4.8. Brojčane vrijednosti temeljnih odstupanja izmjera za provrte

Nazivna izmjera, mm		Vrijednosti temeljnih odstupanja izmjera, μm																			
		Donje odstupanje izmjere <i>EI</i>											Gornje odstupanje izmjere <i>ES</i>								
		Svi stupnjevi temeljnih tolerancija											IT6	IT7	IT8	do IT8	od IT8	do IT8	od IT8		
od	do	A ¹⁾	B ¹⁾	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS ²⁾	J			K ³⁾		M ^{3) 4)}		
-	3 ^{1) 5)}	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	Odstupanja = ±Tn/2, gdje je n brojčana vrijednost IT	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	
3	6			+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-1 + Δ		-4 + Δ	-4	
6	10	+280		+80	+56	+40	+25	+13	+13	+8	+5	0			+8	+12			-6 + Δ	-6	
10	14		+150																		
14	18	+290		+95		+50	+32		+16		+6	0			+6	+10	+15		-7 + Δ	-7	
18	24																				
24	30	+300	+160	+110		+65	+40		+20		+7	0			+8	+12	+20	-2 + Δ		-8 + Δ	-8
30	40	+310	+170	+120		+80	+25		+25		+9	0			+10	+14	+24			-9 + Δ	-9
40	50	+320	+180	+130																	
50	65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0			+13	+18	+28	-3 + Δ		-11 + Δ	-11
65	80	+360	+200	+150																	
80	100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0			+16	+22	+34	-4 + Δ		-13 + Δ	-13
100	120	+410	+240	+180																	
120	140	+460	+260	+200																	
140	160	+520	+280	+210		+145	+85		+43		+14	0			+18	+26	+41	-5 + Δ		-15 + Δ	-15
160	180	+580	+310	+230																	
180	200	+660	+340	+240																	
200	225	+740	+380	+260		+170	+100		+50		+15	0			+22	+30	+47	-6 + Δ		-17 + Δ	-17
225	250	+820	+420	+280																	
250	280	+920	+480	+300		+190	+110		+56		+17	0			+25	+36	+55	-7 + Δ		-19 + Δ	-19
280	315	+1050	+540	+330																	
315	355	+1200	+600	+360		+210	+125		+62		+18	0			+29	+39	+60	-8 + Δ		-21 + Δ	-21
355	400	+1350	+680	+400																	
400	450	+1500	+760	+440		+230	+135		+68		+20	0			+33	+43	+66	-9 + Δ		-23 + Δ	-23
450	500	+1650	+840	+480																	
500	560					+260	+145		+76		+22	0						0		-26	
560	630																				
630	710					+290	+160		+80		+24	0						0		-30	
710	800																				
800	900					+320	+170		+86		+26	0					0		-34		
900	1000																				
1000	1120					+350	+195		+98		+28	0					0		-40		
1120	1250																				
1250	1400					+390	+220		+110		+30	0					0		-48		
1400	1600																				
1600	1800					+430	+240		+120		+32	0					0		-58		
1800	2000																				
2000	2240					+480	+260		+130		+34	0					0		-68		
2240	2500																				
2500	2800					+520	+290		+145		+38	0					0		-76		
2800	3150																				

¹⁾ Temeljno odstupanje A i B ne smije se rabiti za nazivne izmjere do uključivo 1 mm.

²⁾ Kod tolerancijskih razreda od JS7 do JS11 može se brojčana vrijednost IT*n*, ako je neparna brojka, zaokružiti na prvu donju parnu, tako da je dobiveno odstupanje izmjere, tj. $\pm ITn/2$ cijela brojka u μm .

³⁾ Za određivanje vrijednosti K, M i N za stupnjeve temeljnih tolerancija do uključivo IT8 i odstupanja izmjera od P do ZC za stupnjeve temeljnih tolerancija do uključivo IT7 moraju se vrijednosti za Δ uzeti iz tablice 4.8. (nastavak na stranici 53.).

Primjer:

K7 u području nazivne izmjere od 18 do 30 mm: $\Delta = 8 \mu\text{m}$ pa je $ES = -2 + 8 = +6 \mu\text{m}$

S6 u području nazivne izmjere od 18 do 30 mm: $\Delta = 4 \mu\text{m}$ pa je $ES = -35 + 4 = -31 \mu\text{m}$

⁴⁾ Posebni slučajevi: za tolerancijski razred M6 u području nazivne izmjere od 250 do 315 mm je $ES = -9 \mu\text{m}$ (umjesto $-11 \mu\text{m}$)

⁵⁾ Odstupanje izmjera N za stupnjeve standardnih tolerancija od IT8 ne smije se rabiti za nazivne izmjere do uključivo 1 mm.

Tablica 4.8. Brojčane vrijednosti temeljnih odstupanja izmjera za provrte (nastavak)

Nazivna izmjera, mm				Vrijednosti temeljnih odstupanja izmjera, μm															Vrijednosti za Δ, μm					
				Gornje odstupanje izmjere ES															Stupanj temeljne tolerancije					
				do IT8	od IT8	do IT7	Stupnjevi temeljnih tolerancija iznad IT7																	
od	do	N ^{3) 5)}		P do ZC ³⁾	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8		
-	3	-4	-4	Vrijednosti stupnjeva temeljnih tolerancija od IT7 povećani za Δ	-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0		
3	6	-8 + Δ	0		-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6		
6	10	-10 + Δ	0		-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7		
-18	14	-12 + Δ	0		-18	-23	-28		-33		-40		-50	-64	-90	-130	1	2	3	4	7	9		
14	18									-39	-45		-60	-77	-108	-150								
18	24	-15 + Δ	0		-22	-28	-35		-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12		
24	30							-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218								
30	40	-17 + Δ	0		-26	-34	-43		-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1,5	3	4	5	9	14	
40	50							-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325								
50	65	-20 + Δ	0		-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16		
65	80							-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480						
80	100	-23 + Δ	0		-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19		
100	120							-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690						
120	140	-27 + Δ	0		-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	5	7	15	23		
140	160					-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900								
160	180					-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000								
180	200	-31 + Δ	0		-50	-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	9	17	26		
200	225					-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250								
225	250					-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350								
250	280	-34 + Δ	0		-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29		
280	315					-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700								
315	355	-37 + Δ	0		-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32		
355	400					-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100								
400	450	-40 + Δ	0		-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34		
450	500					-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600								
500	560	-44		-78	-150	-280	-400	-600																
560	630				-155	-310	-450	-660																
630	710	-50		-88	-175	-340	-500	-740																
710	800				-185	-380	-560	-840																
800	900	-56		-100	-210	-430	-620	-940																
900	1000				-220	-470	-680	-1050																
1000	1120	-66		-120	-250	-520	-780	-1150																
1120	1250				-260	-580	-840	-1300																
1250	1400	-78		-140	-300	-640	-960	-1450																
1400	1600				-330	-720	-1050	-1600																
1600	1800	-92		-170	-370	-820	-1200	-1850																
1800	2000				-400	-920	-1350	-2000																
2000	2240	-110		-195	-440	-1000	-1500	-2300																
2240	2500				-460	-1100	-1650	-2500																
2500	2800	-135		-240	-550	-1250	-1900	-2900																
2800	3150				-580	-1400	-2100	-3200																

³⁾ Za određivanje vrijednosti od K, M i N za stupnjeve temeljnih tolerancija do uključivo IT8 i odstupanja izmjera od P do ZC za stupnjeve temeljnih tolerancija do uključivo IT7 moraju se vrijednosti za Δ uzeti iz tablice 4.8. (nastavak na stranici 53.).

Primjer:

K7 u području nazivne izmjere od 18 do 30 mm: $\Delta = 8 \mu\text{m}$ pa je $ES = -2 + 8 = +6 \mu\text{m}$

S6 u području nazivne izmjere od 18 do 30 mm: $\Delta = 4 \mu\text{m}$ pa je $ES = -35 + 4 = -31 \mu\text{m}$

⁵⁾ Odstupanje izmjera N za stupnjeve standardnih tolerancija od IT8 ne smije se rabiti za nazivne izmjere do uključivo 1 mm.

U tablicama 4.9. i 4.10. dane su vrijednosti onih tolerancijskih polja za rukavce i provrte koje, prema iskustvu u strojarstvu, većinom zadovoljavaju u svim primjerima (a odgovaraju 1., 2. i 3. prednosti preporučenih dosjeda prema DIN 7157).

Tablica 4.9. Vrijednosti odstupanja rukavca u μm (HRN M.A1.150...158 - 1968)

Nazivna izmjera, mm	a11	c11	d9	e8	f7	g6	h6	h8	h9	h11	j6	k6	n6	r6	s6	u8	x8
0) ... 3	-270 -330	-60 -120	-20 -45	-14 -28	-6 -16	-2 -8	0 -6	0 -14	0 -25	0 -60	+4 -2	+6 0	+10 +4	+16 +10	+27 +19	+32 +18	+34 +20
3) ... 6	-270 -345	-70 -145	-30 -60	-20 -38	-10 -22	-4 -12	0 -8	0 -18	0 -30	0 -75	+6 -2	+9 +1	+16 +8	+23 +15	+20 +14	+41 +23	+46 +28
6) ... 10	-280 -370	-80 -170	-40 -76	-25 -47	-13 -28	-5 -14	0 -9	0 -22	0 -36	0 -90	+7 -2	+10 +1	+19 +10	+28 +19	+32 +23	+50 +28	+56 +34
10) ... 14	-290	-95	-50	-32	-16	-6	0	0	0	0	+8	+12	+23	+34	+39	+60	+67
14) ... 18	-400	-205	-93	-59	-34	-17	-11	-27	-43	-110	-3	+1	+12	+23	+28	+33	+40 +72 +45
18) ... 24	-300	-110	-65	-40	-20	-7	0	0	0	0	+9	+15	+28	+41	+48	+74 +41	+87 +54
24) ... 30	-430	-240	-117	-73	-41	-20	-13	-33	-52	-130	-4	+2	+15	+28	+35	+81 +48	+97 +64
30) ... 40	-310 -470	-120 -280	-80	-50	-25	-9	0	0	0	0	+11	+18	+33	+50	+59	+99 +60	+119 +80
40) ... 50	-320 -480	-130 -290	-142	-89	-50	-25	-16	-39	-62	-160	-5	+2	+17	+34	+43	+109 +70	+136 +97
50) ... 65	-340 -530	-140 -330	-100	-60	-30	-10	0	0	0	0	+12	+21	+39	+60 +41	+72 +53	+133 +87	+168 +122
65) ... 80	-360 -550	-150 -340	-174	-106	-60	-29	-19	-46	-74	-190	-6	+2	+20	+62 +43	+78 +59	+148 +102	+192 +146
80) ... 100	-380 -600	-170 -390	-120	-72	-36	-12	0	0	0	0	+13	+25	+45	+73 +51	+93 +71	+178 +124	+232 +178
100) ... 120	-410 -630	-180 -400	-207	-126	-71	-34	-22	-54	-87	-220	-9	+3	+23	+76 +54	+101 +79	+198 +144	+264 +210
120) ... 140	-460 -710	-200 -450												+88 +63	+117 +92	+233 +170	+311 +248
140) ... 160	-520 -770	-210 -460	-145	-85	-43	-14	0	0	0	0	+44	+28	+52	+90 +65	+125 +100	+253 +190	+343 +280
160) ... 180	-580 -830	-230 -480												+93 +68	+133 +108	+273 +210	+373 +310
180) ... 200	-660 -950	-240 -530												+106 +77	+151 +122	+308 +236	+422 +350
200) ... 225	-74 -1030	-260 -550	-170	-100	-50	-15	0	0	0	0	+16	+33	+60	+109 +80	+159 +130	+330 +258	+457 +385
225) ... 250	-820 -1110	-280 -570												+113 +84	+169 +140	+356 +284	+497 +425
250) ... 280	-920 -1240	-300 -620	-190	-110	-56	-17	0	0	0	0	+16	+36	+66	+126 +94	+190 +158	+396 +315	+556 +475
280) ... 315	-1050 -1370	-330 -650	-320	-191	-108	-49	-32	-81	-130	-320	-16	+4	+34	+130 +98	+202 +170	+431 +350	+606 +525
315) ... 355	-1200 -1560	-360 -720	-210	-125	-62	-18	0	0	0	0	+18	+40	+73	+144 +108	+226 +190	+479 +390	+679 +590
355) ... 400	-1350 -1710	-400 -760	-350	-214	-119	-54	-36	-89	-140	-360	-18	+4	+37	+150 +114	+244 +208	+524 +435	+749 +660
400) ... 450	-1500 -1900	-440 -840	-230	-135	-68	-20	0	0	0	0	+20	+45	+80	+166 +126	+272 +232	+587 +490	+837 +740
450) ... 500	-1650 -2050	-480 -880	-385	-232	-131	-60	-40	-97	-155	-400	-20	+5	+40	+172 +132	+292 +252	+637 +540	+917 +820

Tablica 4.10. Vrijednosti odstupanja provrta u μm (HRN M.A1.170...177 – 1968)

Nazivna izmjera, mm	A11	C11	D10	E9	F8	G7	H6	H7	H8	H9	H11
0) ... 3	+330 +270	+120 +60	+60 +20	+39 +14	+20 +6	+12 +3	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+60 0
3) ... 6	+345 +270	+145 +70	+78 +30	+50 +20	+28 +10	+16 +4	+8 0	+12 0	+18 0	+30 0	+75 0
6) ... 10	+370 +280	+170 +80	+98 +40	+61 +25	+35 +13	+20 +5	+9 0	+15 0	+22 0	+36 0	+90 0
10) ... 14	+400	+205	+120	+75	+43	+24	+11	+18	+27	+43	+110
14) ... 18	+290	+95	+50	+32	+16	+6	0	0	0	0	0
18) ... 24	+430	+240	+149	+92	+53	+28	+13	+21	+33	+52	+130
24) ... 30	+300	+110	+65	+40	+20	+7	0	0	0	0	0
30) ... 40	+470 +310	+280 +120	+180	+112	+64	+34	+16	+25	+39	+62	+160
40) ... 50	+480 +320	+290 +130	+80	+50	+25	+9	0	0	0	0	0
50) ... 65	+530 +340	+330 +140	+220	+134	+60	+40	+19	+30	+46	+74	+190
65) ... 80	+550 +360	+340 +150	+100	+60	+30	+10	0	0	0	0	0
80) ... 100	+600 +380	+390 +170	+260	+159	+71	+47	+22	+35	+54	+87	+220
100) ... 120	+630 +410	+400 +180	+120	+72	+36	+12	0	0	0	0	0
120) ... 140	+710 +460	+450 +200	+305 +145	+185 +85	+83 +43	+54 +14	+25 0	+40 0	+63 0	+100 0	+250 0
140) ... 160	+770 +310	+460 120									
160) ... 180	+830 +580	+480 +230									
180) ... 200	+950 +660	+530 +240	+355 +170	+215 +100	+96 +50	+61 +15	+29 0	+46 0	+72 0	+115 0	+290 0
200) ... 225	+1030 +740	+550 +260									
225) ... 250	+1110 +820	+570 +280									
250) ... 280	+1240 +20	+620 +300	+400	+240	+108	+69	+32	+52	+81	+130	+320
280) ... 315	+1370 +1050	+650 +330	+190	+110	+56	+17	0	0	0	0	0
315) ... 355	+1560 +1200	+720 +360	+440	+265	+119	+75	+36	+57	+89	+140	+360
355) ... 400	+1710 +1350	+760 +400	+210	+125	+62	+18	0	0	0	0	0
400) ... 450	+1900 +1500	+840 +440	+480	+290	+165	+83	+40	+63	+97	+145	+400
450) ... 500	+2050 +1650	+880 +480	+230	+135	+68	+20	0	0	0	0	0

4.3.2. Preporuke za izbor tolerancijskih polja

Za 20 stupnjeva temeljnih tolerancija IT, 28 položaja tolerancijskih polja daju po ISO sustavu mogućnost uporabe 560 različitih tolerancija. Proizvodna poduzeća nastoje broj tolerancija svesti na prihvatljiv broj, čime bi se smanjio potreban broj različitih alata, naprava i mjernih uređaja, što na kraju pojeftinjuje proizvode.

Hrvatske norme daju preporuke za izbor tolerancijskih polja, pa se npr. prema HRN M.A1.140 daju preporuke za izmjere do 500 mm, a prema HRN M.A1.141 za izmjere od 500 do 3150 mm, što je dano i u tablicama od 4.11. do 4.13. [27].

Tablica 4.11. Preporuke za izbor tolerancijskih polja rukavca za izmjere do 500 mm

	a	b	c	d	e	f	g	h	j	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y
IT4						■	■	■		■	■	■	■	■	■	■					
IT5				■	■	■	○	○	○	○	○	○	○	○	○	■	■	■	■	■	
IT6				■	■	○	●	⊙	●	■	●	○	⊙	○	⊙	●	■	■	■	■	
IT7				■	■	⊙	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
IT8					●	○		○		■								⊙		⊙	
IT9	■	■	○	●	○	■		⊙		■											
IT10				○				■		■											
IT11	●	○	●	○				●		■											
IT12								○		■											
IT13								○		■											

Značenje simbola: ■ - može; ○ - dobro; ● - preporučeno; ⊙ - prioritet

Tablica 4.12. Preporuke za izbor tolerancijskih polja provrta za izmjere do 500 mm

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y
IT4								■		■											
IT5					■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■					
IT6				■	■	■	○	○	○	■	○	○	○	○	○	○	■	■	■	■	■
IT7				■	■	○	●	⊙	○	■	○	○	○	○	○	○	○	○	■	■	■
IT8		■	■	■	○	⊙		⊙	■	■	■	■	■	■	■						
IT9	■	○	○	○	⊙	■		○		■			■	■							
IT10				⊙	■			■		■			■								
IT11	●	○	⊙	○				●		■			■								
IT12								○		■											
IT13								○		■											

Značenje simbola: ■ - može; ○ - dobro; ● - preporučeno; ⊙ - prioritet

Tablica 4.13. Preporuke za izbor tolerancijskih polja rukavca i provrta za izmjere od 500 do 3150 mm

	c	d	e	f	g	h	j	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	C	D	E	F	G	H	J	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
IT6					■	■		■	■	■	●	■	●							
IT7					●	●		●	●			■	■	●	■	●	■	■	■	■
IT8				●				●	■											
IT9			●			■		■												
IT10		●				■		■												
IT11								■												
IT12						■		■												
IT13						■		■												
IT14						■		■												

Značenje simbola: ■ - može; ○ - dobro; ● - preporučeno; ⊙ - prioritet

4.4. Tolerancije slobodnih izmjera – opće tolerancije

Izmjere kod kojih odstupanja od nazivnih vrijednosti praktično ne utječu na upotrebljivost dijelova nazivaju se *slobodnim izmjerama*. Te se izmjere ostvaruju uobičajenim proizvodnim postupkom pa njihova odstupanja leže u granicama tog

postupka obrade. Tolerancije slobodnih izmjera dopuštena su odstupanja od željenih izmjera koja se ne unose na crteže, tako da se nazivne izmjere na kotama upisuju bez navođenja tolerancijskog polja. Tolerancije slobodnih izmjera ne mogu se propisati na temelju funkcije, jer veličina prekoračenja nazivne vrijednosti ne utječe ni na upotrebljivost, ni na sigurnost dijela. Slobodne izmjere odnose se na dijelove koji ne tvore dosjede. Zato se slobodne izmjere ne toleriraju osim ako je potrebno stupanj točnosti ovih izmjera suziti.

Dopuštena odstupanja slobodnih izmjera za obrađene dijelove izrađene odvajanjem čestica i njihove izmjere navedene su u tablicama od 4.14. do 4.15., a njihova je veličina utvrđena prema ISO 2768 i svrstana u četiri razreda točnosti:

- f - fino,
- m - srednje,
- c - grubo i
- v - vrlo grubo.

Tolerancije slobodnih izmjera unose se u crtež u za to predviđeno polje (zaglavlja crteža) pomoću skraćene oznake stupnja točnosti, npr. ISO 2768 - m.

Tablica 4.14. Tolerancije slobodnih izmjera ostvarenih odvajanjem čestica

Područje nazivnih izmjera, mm	Stupanj točnosti			
	f	m	c	v
... 3	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	-
3) ... 6	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$
6) ... 30	$\pm 0,10$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1
30) ... 120	$\pm 0,15$	$\pm 0,3$	$\pm 0,8$	$\pm 1,5$
120) ... 315	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,2$	± 2
315) ... 1000	$\pm 0,3$	$\pm 0,8$	± 2	± 3
1000) ... 2000	$\pm 0,5$	$\pm 1,2$	± 3	± 4
2000) ... 4000	$\pm 0,8$	± 2	± 4	± 6
4000) ... 8000	-	± 3	± 5	± 8
8000) ... 12000	-	± 4	± 6	± 10
12000) ... 16000	-	± 5	± 7	± 12
16000) ... 20000	-	± 6	± 8	± 12
Prema ISO 2768 (1973) nisu obuhvaćena područja nazivnih izmjera iznad 2000 mm i nije obuhvaćena vrlo gruba kvaliteta izrade.				

Tablica 4.15. Tolerancije slobodnih izmjera za polumjere zaobljenja i skošene rubove

Stupanj točnosti	Područje nazivnih izmjera, mm				
	...3	3...6	6...30	30...120	120...315
fini i srednji	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 4
grubi i vrlo grubi	$\pm 0,2$	± 1	± 2	± 4	± 8
Prema ISO 2768 (1973) nisu posebno predviđena dopuštena odstupanja za polumjere zaobljenja i skošeni rubovi.					

Dopuštena odstupanja izmjera odljevaka od čeličnog, sivog i temperiranog lijeva te dopuštena odstupanja debljine stijenki odljevaka dana su u tablicama od 4.16. do 4.20.

Je li je potrebno i u kojem opsegu provjeravanje dopuštenih odstupanja slobodnih izmjera dobivenih odvajanjem čestica, utvrđuje se internim propisima proizvođača. Naručitelj (kupac) odlučuje o prihvatanju dijelova koji ne odgovaraju odredbama norme ISO 2768.

Tablica 4.16. Tolerancije slobodnih izmjera za kutove upisane u crteže

Stupanj točnosti	Područje nazivnih izmjera (duljina kraćeg kraka), mm							
	... 10		10) ... 50		50) ... 120		120) ... 400	
	stupanj	mm na 100 mm	stupanj	mm na 100 mm	stupanj	mm na 100 mm	stupanj	mm na 100 mm
fini i srednji	$\pm 1^\circ$	$\pm 1,8$	$\pm 30'$	$\pm 0,9$	$\pm 20'$	$\pm 0,6$	$\pm 10'$	$\pm 0,3$
grubi	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 2,6$	$\pm 50'$	$\pm 1,5$	$\pm 25'$	$\pm 0,7$	$\pm 15'$	$\pm 0,4$
vrlo grubi	$\pm 3^\circ$	$\pm 5,2$	$\pm 2^\circ$	$\pm 3,5$	$\pm 1^\circ$	$\pm 1,8$	$\pm 30'$	$\pm 0,9$
Prema ISO 2768 (1973) nisu obuhvaćena područja iznad 120 do 400 mm, i obuhvaćena je samo jedna kvaliteta.								

Tablica 4.17. Tolerancije slobodnih izmjera odljevaka od čeličnog lijeva, mm

Područje nazivnih izmjera, mm	Odljevci od čeličnog lijeva					
	Ručno kalupljenje			Strojno kalupljenje		
	vanjska izmjera	unutarnja izmjera	ostale izmjere	vanjska izmjera	unutarnja izmjera	ostale izmjere
... 18	+3 -2	+2 -3	$\pm 2,5$	+3 -2	+2 -3	± 2
18) ... 50	+4 -2	+2 -4	$\pm 3,5$	+4 -2	+2 -4	± 3
50) ... 120	+5 -3	+3 -5	± 4	+4 -3	+3 -4	$\pm 3,5$
120) ... 250	+7 -4	+4 -7	± 6	+6 -4	+4 -6	± 5
250) ... 400	+9 -4	+4 -9	± 7	+8 -4	+4 -8	± 6
400) ... 630	+10 -5	+5 -10	± 8	+9 -5	+5 -9	± 7
630) ... 1000	+12 -6	+6 -12	± 10	+11 -6	+6 -11	± 9
1000) ... 1600	+16 -8	+8 -16	± 13	+14 -7	+7 -14	± 12
1600) ... 2500	+18 -9	+9 -18	± 15	+14 -7	+7 -14	± 14

Tablica 4.18. Tolerancije slobodnih izmjera odljevaka od sivog i temperiranog lijeva, mm

Područje nazivnih izmjera, mm	Odljevci od sivog i temperiranog lijeva					
	Ručno kalupljenje			Strojno kalupljenje		
	vanjska	unutarnja	ostale	vanjska	unutarnja	ostale
... 18	+2 -1	+1 -2	$\pm 1,5$	+1,5 -1	+1 -1,5	$\pm 1,3$
18) ... 50	+2 -1,5	+1,5 -2	$\pm 2,5$	+2 -1	+1 -2	± 2
50) ... 120	+3 -1,5	+1,5 -3	± 3	+2,5 -1	+1 -2,5	$\pm 2,5$
120) ... 250	+3 -2	+2 -3	$\pm 3,5$	+2,5 -1,5	+1,5 -2,5	± 3
250) ... 400	+4 -3	+3 -4	$\pm 4,5$	+3 -2	+2 -3	± 4

Tablica 4.18. Tolerancije slobodnih izmjera odljevaka od sivog i temperiranog lijeva, mm
(nastavak)

Područje nazivnih izmjera, mm	Odljevci od sivog i temperiranog lijeva					
	Ručno kalupljenje			Strojno kalupljenje		
	vanjska	unutarnja	ostale	vanjska	unutarnja	ostale
400) ... 630	+6 -4	+4 -6	±6	+4 -2,5	+2,5 -4	±5
630) ... 1000	+7 -4	+4 -7	±7	+5 -2,5	+2,5 -5	±6
1000) ... 1600	+10 -6	+6 -8	±8	+6 -4	+4 -16	±7
1600) ... 2500	+12 -8	+8 -12	±10	+8 -5	+5 -8	±8

Tablica 4.19. Tolerancije slobodnih izmjera debljina stijenki odljevaka od čeličnog lijeva, u mm

Područje nazivnih izmjera, mm	Odljevci od čeličnog lijeva	
	Ručno kalupljenje	Strojno kalupljenje
... 6	±2,0	±1,5
6) ... 10	±3,0	±1,8
10) ... 18	±4,0	±2,1
18) ... 30	±5,0	±2,5
30) ... 50	±7,0	±3,5
50) ... 80	±8,0	±3,6
80) ... 120	±9,0	±4,3
120) ... 180	±11,0	±5,0
180) ... 250	±12,0	±5,7

Tablica 4.20. Tolerancije slobodnih izmjera debljina stijenki odljevaka od sivog i temperiranog lijeva, mm

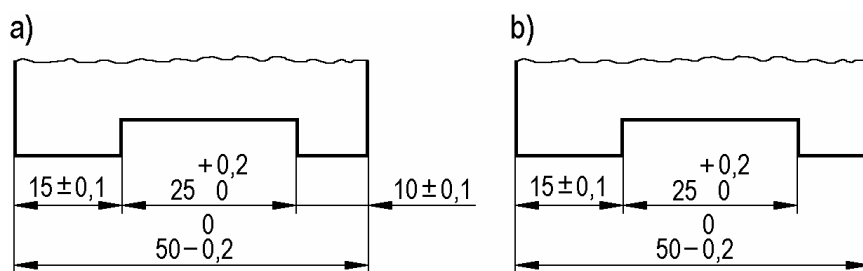
Područje nazivnih izmjera, mm	Odljevci od sivog i temperiranog lijeva	
	Ručno kalupljenje	Strojno kalupljenje
... 6	±1,5	±1,2
6) ... 10	±2,0	±1,5
10) ... 18	±2,5	±1,8
18) ... 30	±3,0	±2,1
30) ... 50	±3,5	±2,5
50) ... 80	±4,0	±2,8
80) ... 120	±4,5	±3,1
120) ... 180	±5,0	±3,4
180) ... 250	±5,5	±3,7

Ako se može dopustiti veće odstupanje od onog što ga propisuju tolerancije slobodnih izmjera, treba to naznačiti na tehničkom crtežu kako kontrola ne bi odbacila strojni dio kao škart. Ako neka izmjera može npr. iznositi od 15 do 20 mm, tada će na crtežu stajati tolerancija

$$\begin{matrix} +5 \\ 15 \ 0. \end{matrix}$$

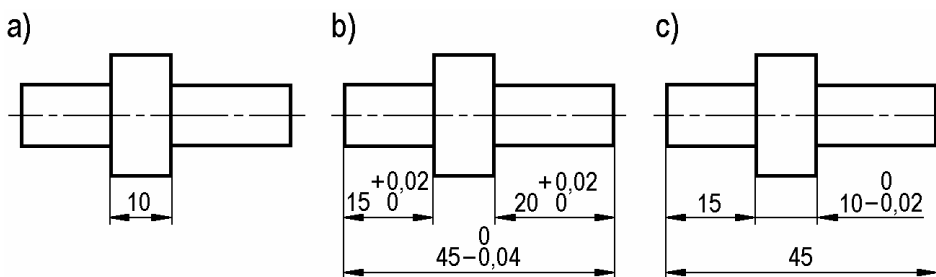
4.5. Složene tolerancije

U sklopovima strojnih dijelova (elemenata) duljinske se izmjere međusobno nadovezuju, zbrajaju ili oduzimaju. Promjena odstupanja bilo koje u mjernom lancu odražava se na promjenu odstupanja jedne duljinske izmjere ili više drugih. Izmjera čije se odstupanje mijenja radi promjene odstupanja drugih duljinskih izmjera u mjernom lancu naziva se *kompenzacijska izmjera*. U zatvorenom lancu izmjera najmanje jedna izmjera mora biti netolerirana jer njezina tolerancija ionako proizlazi iz ostalih tolerancija (slika 4.9.). Kako zbroj svih odstupanja u mjernom lancu mora biti jednak nuli, tolerancija završnog ili kompenzacijskog člana mjernog lanca predstavlja zbroj tolerancija članova mjernog lanca.



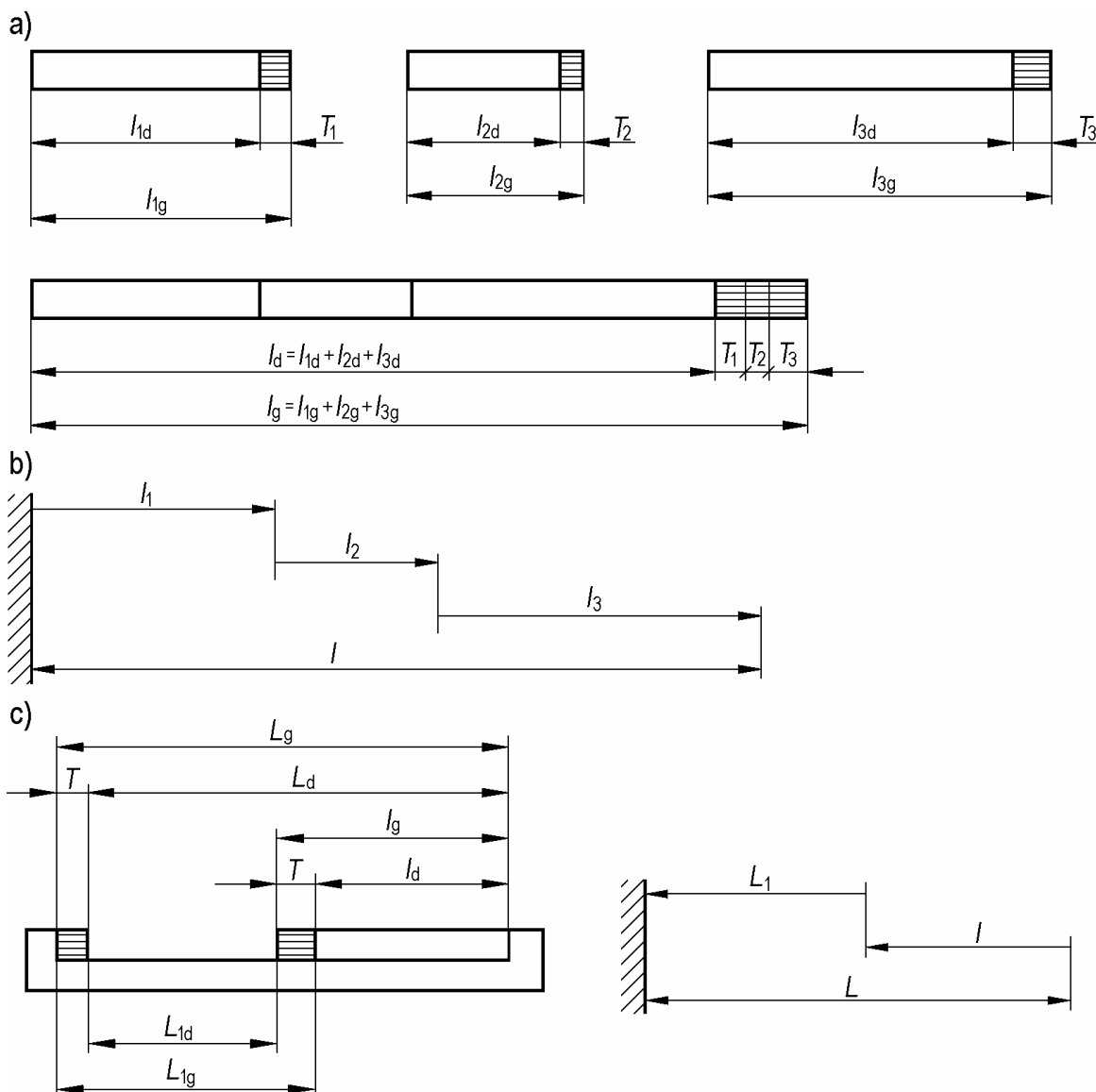
Slika 4.9. Zatvoren lanac izmjera (a - pogrešno i b - ispravno)

Izmjera s uskom tolerancijom koja je funkcijski uvjetovana (slika 4.10.a) ne smije biti zavisna izmjera čija je tolerancija ovisna o većem broju ostalih toleriranih izmjera u lancu (slika 4.10.b) jer to može dovesti do velike skupne tolerancije. Takva izmjera mora imati zadanu toleranciju (slika 4.10.c).



Slika 4.10. Funkcijska uvjetovanost uske tolerancije

Tolerancija zbroja duljinskih izmjera jednaka je zbroju tolerancija svih pojedinačnih izmjera u nizu. Prema oznakama na slici 4.11.a, tolerancija ukupne izmjere l je za ukupnu izmjeru $l = l_1 + l_2 + l_3$. Isto tako tolerancija razlike duljinskih izmjera jednaka je zbroju tolerancija pojedinačnih izmjera, kako je grafički prikazano na slici 4.11.b. Završni član mjernog lanca je izmjera $L_1 = L - l$, s tolerancijom $T = T_1 + T_2 + T_3$ (slika 4.11.c).



Slika 4.11. Složene tolerancije i mjerni lanci

(a - zbroj duljinskih izmjera, b - razlika duljinskih izmjera i c – završna izmjera lanca s tolerancijom)

4.6. Dosjedi

4.6.1. Dosjedni sustavi

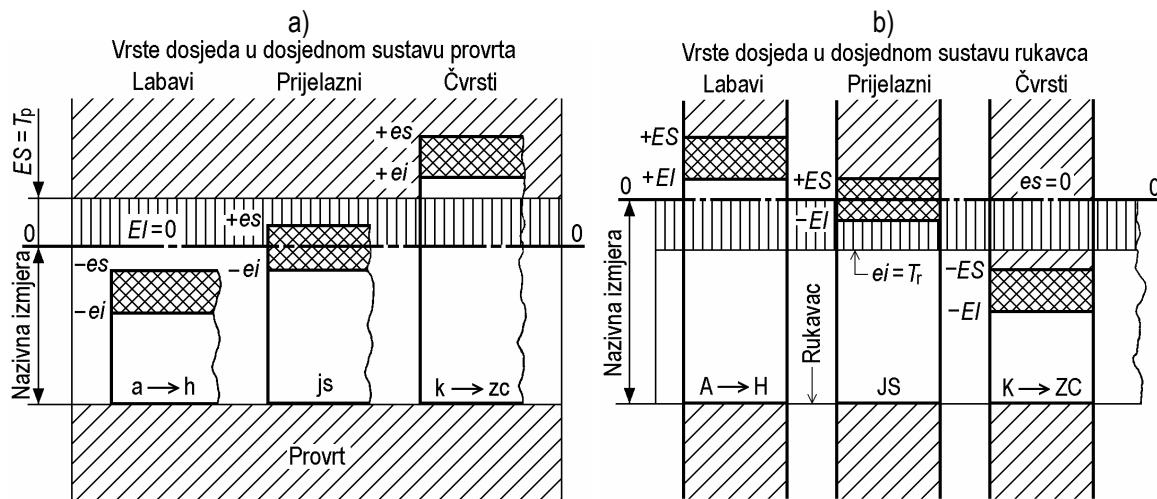
- **Dosjedni sustav** je sustav dosjeda koji sadrži rukavce i provrte, pripadne sustavu graničnih izmjera.

U praksi se upotrebljavaju dva dosjedna sustava:

- **Dosjedni sustav provrta** dosjedni je sustav u kojemu se potrebna zračnost i prisnost postižu tako da se rukavci različitih tolerancijskih razreda sparuju s provrtom samo jednog tolerancijskog razreda. U dosjednom je sustavu provrta (*sustavu jedinstvenog provrta*) najmanja izmjera provrta jednaka nazivnoj izmjeri, tj. donje odstupanje izmjere provrta ima vrijednost ničica (slika

4.12.a).

- **Dosjedni sustav rukavca** dosjedni je sustav u kojemu se potrebna zračnost i prisnost postižu tako da se provrti različitih tolerancijskih razreda sparuju s rukavcem samo jednog tolerancijskog razreda. U dosjednom sustavu rukavca (*sustav jedinstvenog rukavca*) najveća izmjera rukavca jednaka je nazivnoj izmjeri, tj. gornje odstupanje izmjere rukavca ima vrijednost ničica (slika 4.12.b).



Slika 4.12. Dosjedni sustav provrta (a) i dosjedni sustav rukavca (b)

S obzirom na preporučljive dosjede, jedinstveni dio (bilo provrt, bilo rukavac) ima uvijek za sve stupnjeve temeljne tolerancije, promjere i dosjede jedno odstupanje izmjere jednako nuli, tj. jednako nazivnoj izmjeri. Drugo odstupanje izmjere jednako je za sve dosjede unutar određenog područja nazivnih izmjera i određene stupnjeve temeljne tolerancije. U dosjednom sustavu provrta donje odstupanje izmjere jednako je nuli ($EI = 0$), a u dosjednom sustavu rukavca gornje odstupanje izmjere jednako je nuli ($es = 0$), tj. tolerancijska izmjera uvijek ulazi u materijal (bilo provrta, bilo rukavac) (slika 4.12.).

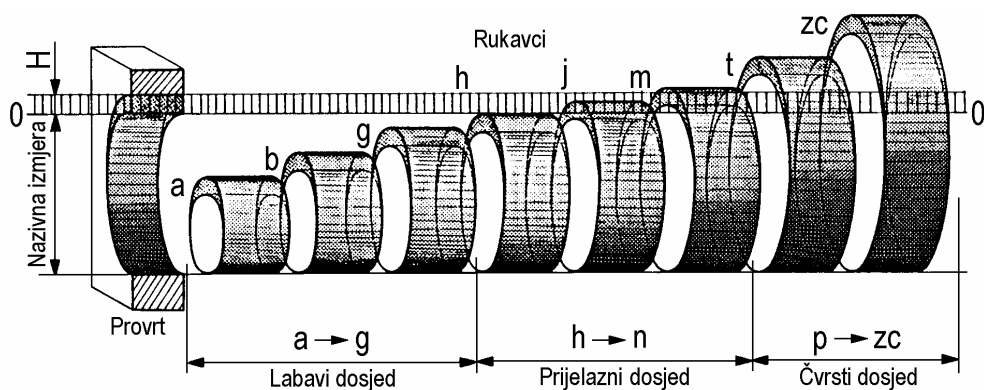
U praksi se primjenjuju oba sustava, ali češće se primjenjuje dosjedni sustav provrta radi lakše obrade i mjerenja s vanjske strane strojnog dijela (rukavca). Međutim, ponekad je potrebno prema gotovom rukavcu podesiti promjere strojnih dijelova koji dolaze na njega (glavine zupčanika, remenica itd.).

4.6.2. Vrste, označavanje i pregled dosjeda

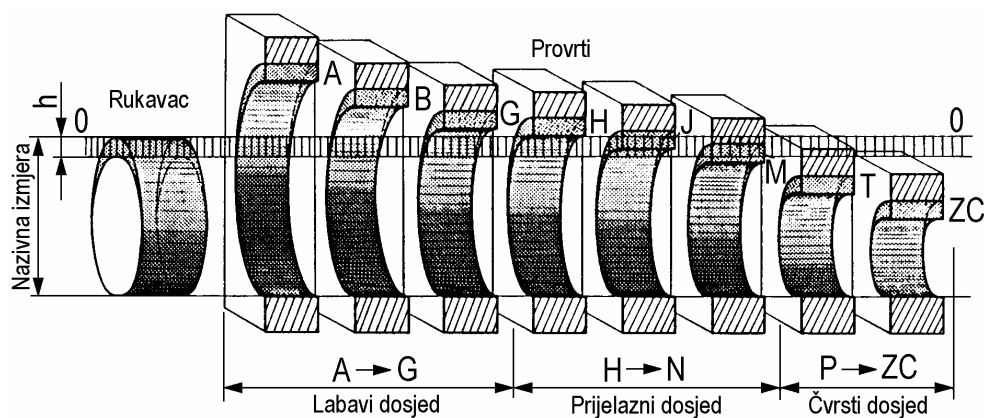
U ISO-sustavu postoji gruba podjela na tri skupine dosjeda: labavi, prijelazni i prisni. Shematski prikaz položaja tolerancijskih polja s obzirom na nazivnu izmjeru predložen je za dosjedni sustav provrta (DSP) na slikama 4.12.a i 4.13., a za dosjedni sustav rukavca (DSR) na slikama 4.12.b i 4.14.

U tablici 4.21. dano je nazivlje stupnjeva dosjeda s obzirom na položaj tolerancijskog polja u dosjednom sustavu provrta (DSP) i dosjednom sustavu

rukavca (DSR).



Slika 4.13. Dosjedi kod dosjednog sustava rukavca (DSR)



Slika 4.14. Dosjedi kod dosjednog sustava provrta (DSP)

Tablica 4.21. Nazivlje dosjeda

DOSJEDI		Temeljna odstupanja	
		DSP	DSR
LABAVI	Vrlo prostran	A	a
	Prostran	B	b
	Poluprostran	C	c
	Pomičan	D	d
	Polupomičan	E	e
	Povodljiv	F	f
	Polupovodljiv	G	g
PRIJELAZNI	Klizni	H	h
	Pogretni	J, J _s	j, j _s
	Prilegli	K	k
	Stegnuti	M	m
	Uglavljeni	N	n
PRISNI	Zažeti	P, R, S	p, r, s
	Čvrsto zažeti	T, U, V	t, u, v
	Prezažeti	X, Y, Z	x, y, z
		ZA, ZB, ZC	za, zb, zc

Prema preporuci ISO i DIN 7157 prednost kod primjene daje se dosjedima danim u tablicama 4.22. i 4.23.

Tablica 4.22. Prednostni dosjedi u dosjednom sustavu rukavca (DSR)

Tol. razred	1. prednost	2. prednost	3. prednost
h5			G6, H6, J6, K6, M6, N6, P6, R6
h6	F8, H7	G7	F7, J7, K7, M7, N7, P7, R7, S7
h8	F8, H8		B9, C9, D9, E8, F9, H9
h9	C11, D10, E9, F8, H8	H11	H9
h11	C11, D10	A11, H11	B11, D9, D11, H9
h12			H12
h13			H13

Tablica 4.23. Prednostni dosjedi u dosjednom sustavu provrta (DSP)

Tol. razred	1. prednost	2. prednost	3. prednost
H6		j6, k6	g5, h5, j5, k5, m5, n5, p5, r5
H7	f7, h6, n6, r6	g6, j6, k6, s6	f6, m6, n6
H8	f7, h9, u8, x8	d9, e8	c9, f8, h8
H9	h9	c11, h11	d10, e9, f8, h8
H11	h9	a11, c11, d9, h11	b11, d11
H12			h12
H13			h13

4.6.3. Izbor tolerancija i dosjeda

Svaki strojni dio ima čitav niz izmjera, međutim tolerancije se obično propisuju za udaljenosti središnjica i obrađene plohe koje su od utjecaja na ugradnju i pravilno funkcioniranje. ISO-sustav tolerancija s 28 slova i 20 stupnjeva temeljnih tolerancija IT za svaki simbol teorijski omogućava spajanje rukavca i provrta u dosjed gotovo prema slobodnom izboru ($28 \cdot 20 = 560$ mogućih dosjeda). U praktičnoj primjeni ne koriste se sve ove mogućnosti, već je broj dosjeda sužen na nešto više od 50. Neke tvornice idu na još užu primjenu, uglavnom zbog smanjenja troškova koji bi otpali na velik broj alata i mjerila. Preporučljivi dosjedi za opće strojarstvo dani su u tablici 4.24.

Tablica 4.24. Preporučljivi dosjedi za opće strojarstvo

PROVRT	RUKAVAC						
H6	g5	f6	e7	-	-	-	-
H7	g6	f7	e8	d8, d9	c8, c9	b8, b9	a9
H8	-	f8	e9	d10	-	-	-
H11	-	-	-	d11	c11	b11	a11
	Za točno vođenje rukavac	Za najmanje gubitke trenja uz najveću nosivost ako je mala razlika pogonske temperature i temperature stanja mirovanja			Za miran hod i najmanje gubitke trenja, za veće razlike pogonske temperature, dijelove koji su ponekad u pogonu, vodilice		
h5	G6	F6	E7	-	-	-	-
h6, h7	G7	F7	E8	D8, D9	C8, C9	B8, B9	A9
h8, h9	-	F8	E9	D10	-	-	-
h11	-	-	-	D11	C11	B11	A11
RUKAVAC	PROVRT						

Ako se zahtijeva velika točnost, potrebno je raspolagati specijalnim alatnim strojevima i predvidjeti višekratno upinjanje strojnog dijela pri obradi na više

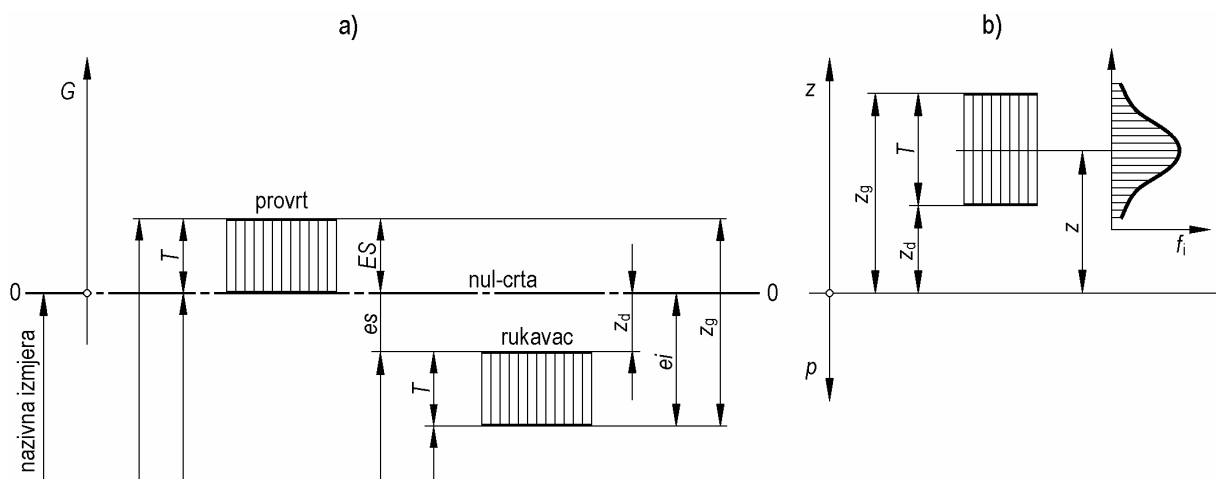
različitih strojeva te mnogo dulje vrijeme obrade. Ovakav zahtjev mora imati ekonomsku opravdanost. Gdje god je to moguće, treba težiti uporabi što grubljih tolerancija i kvaliteta izrade kako bi strojni dio bio što jeftiniji. Pri tome stalno treba imati na umu funkciju strojnog dijela. Na strože tolerancije i finije kvalitete izrade treba ići onda kada granični slučajevi ne osiguravaju ispravnu funkciju dijelova. Pri izboru i usporedbi različitih dosjeda treba računati sa srednjim vrijednostima zračnosti ili prekomjera (prisnosti), a granične vrijednosti samo kontrolirati.

Labavi dosjed. Već je rečeno da se labavi dosjed ostvaruje između dijelova kod kojih je stvarna izmjera provrta veća od stvarne izmjere rukavca (slika 4.12.). Razlika između promjera provrta i rukavca je pozitivna, odnosno između sklopljenih dijelova postoji zračnost (zazor) veličine $z > 0$ (slika 4.15.a).

Područje rasipanja zračnosti može se definirati za slučaj da se u razmatranje uključe sve dopuštene veličine promjera provrta i promjera rukavca. Najveća zračnost bila bi za izbor najvećeg provrta i najmanjeg rukavca, odnosno $z_{\max} = z_g = ES + ei$. Najmanja zračnost dobila bi se ako bi se sklopio dio s najmanjim provrtom i dio s najvećom osovinom, odnosno $z_{\min} = z_d = es$.

Vidljivo je da će promjenom promjera provrta i rukavca od gornjih do donjih vrijednosti zračnost varirati od z_d do z_g .

Najveća učestalost f_i bit će za sklopove sa srednjim zračnostima $z_{sr} = z = 0,5 \cdot (z_g + z_d)$ jer su najučestaliji srednji promjeri dijelova, dok će granična (najmanja i najveća) zračnost z_d i z_g biti male učestalosti (slika 4.15.b). Kod labavog dosjeda moguća je samo zračnost, a dijelovi u sklopu međusobno su pokretljivi i sklapaju se bez primjene sile.



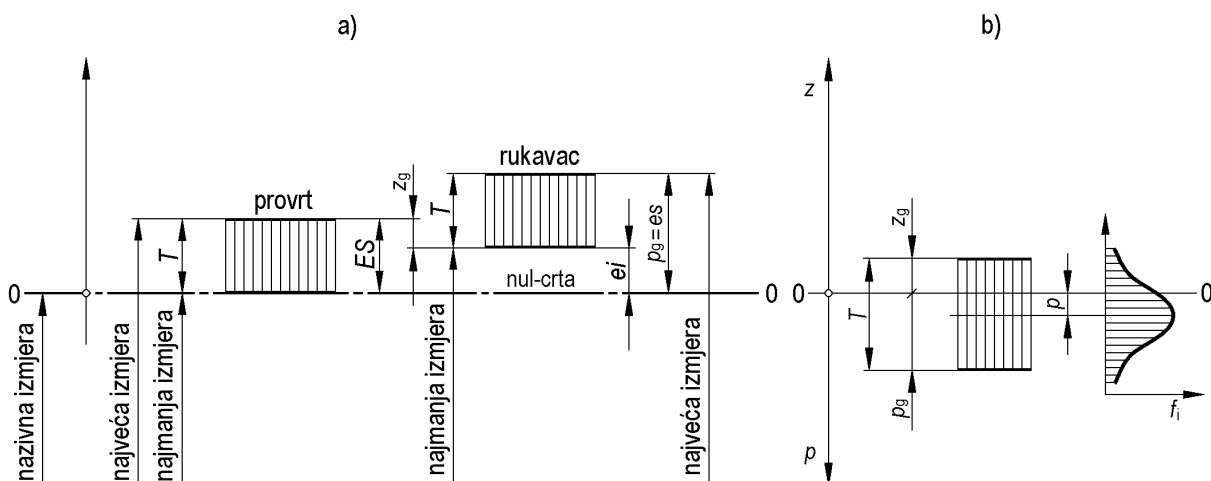
Slika 4.15. Područje rasipanja zračnosti kod labavog dosjeda
(a - dijagram tolerancijskih polja provrta i osovine i b - dijagram zračnosti tolerancije dosjeda)

Labavost zavisi od veličine izmjere, a kod sličnih konstrukcija i uvjeta rada mora postojati mogućnost istog odnosa dosjeda za različite promjere. Najvažnije je odabrati srednju vrijednost tolerancije za temperature koje vladaju u pogonskom

stanju, pa od slučaja do slučaja ispitati utjecaj maksimalne i minimalne zračnosti. Na izbor labavog dosjeda općenito utječe: točnost vođenja rukavca, nosivost spoja, jednoličnost hoda rukavca, gubici trenja u spoju te temperatura u pogonskom stanju i temperatura okoliša pri izradi (temperatura radionice). U tablici 4.25. dan je pregled nekoliko primjera za izbor labavih dosjeda (po Niemannu [27]) koji će olakšati izbor u praksi i omogućiti usporedbu sa stvarnim slučajevima pri konstruiranju.

Tablica 4.25. Primjeri primjene labavih dosjeda

DSP	Primjeri primjene labavih dosjeda	DSR
H7/g6	1) Polupovodljiv dosjed, rastavan s malom zračnošću: - Za uvrstive zupčanike i spojke, ležaje i spojnice, stapove indikatora.	G7/h6
H7/f7 H8/f8	2) Povodljiv dosjed, osjetna zračnost: - Glavni ležaji radnih strojeva, ležaj koljenaste osovine i stapajice, ležaji regulatora. - Glavni ležaji koljenaste osovine, ležaji stapajice, križna glava u vodilicama, povod stapajice, motka razvodnika, trokratno uležištena osovina, stap i stapni razvodnik u cilindru, ležaji za centrifugalne i zupčaste sisaljke, pomični kolčaci spojki.	F7/h6 F8/h8
H7/e8	3) Polupomičan dosjed, znatna zračnost: - Za višestruko uležištene osovine	E8/h6
H7/d9 H8/d10 H11/d11	4) Pomičan dosjed, veća zračnost: - Za osovine transmisija i pretprega, ležaji za duge osovine kod prenosila i transmisija, jalova remenica i slična kola, ležaji poljodjelačkih strojeva, usredištenje cilindara, dijelovi brtvenica. - Zračnost za siguran pomak dijelova s velikom tolerancijom: poluge koje se skidaju, svornjaci poluga, ležaji povodnih kola, ručice.	D9/h6 D10/h8 D11/h11
H11/c11 H11/b11	5) Poluprostran i prostran dosjed s većom zračnošću za pomak dijelova s velikom tolerancijom: - Svornjak vilice na motki kočnice. - Kod vozila, okretni čepovi, prostrani zaticci.	B11/h11 A11/h11
H11/a11	6) Vrlo prostran dosjed s velikom zračnošću za pomak dijelova s velikom tolerancijom: - Osovina regulatora lokomotive, ovjesni dijelovi opruga i kočnica, ležaj osovine kočnice, spojni svornjak lokomotive.	C11/h11



Slika 4. 16. Područje rasipanja zračnosti i prijelopa kod prijelaznog dosjeda
(a - dijagram tolerancijskih polja provrta i osovine i b - dijagram učestalosti zračnosti i prijelopa)

Prijelazni ili neizvjesni dosjed. Već je rečeno da je ovo dosjed koji se nalazi između prsnog (čvrstog) i labavog dosjeda (slika 4.12.). Montažom dijelova, u zavisnosti od odnosa izabranih izmjera provrta i rukavca, prijelazni ili neizvjesni dosjed može postati labav dosjed s malom zračnosti ili prisan dosjed s malim prijeklopom (slika 4.16.a). Najveća zračnost dobije se za slučaj da je $z_{\max} = z_g = ES - ei > 0$, a najveći prijeklop nastaje sparivanjem najmanjeg provrta s najvećim rukavcem $p_{\max} = p_g = es < 0$. Dijagram zračnosti i prijeklopa (slika 4.16.b) obuhvaća i nul-crtu. Najveća učestalost f_i odgovara srednjim vrijednostima između z_g i p_g , a to su vrijednosti bliske nuli.

Vrijednosti prijelaznih dosjeda kreću se oko nul-crte. Njihov izbor zahtijeva posebnu pozornost i veliko iskustvo da bi se postigao željeni karakter dosjeda. U spoju s poljem H provrta, odnosno poljem h rukavca, preporučaju se sljedeći dosjedi:

- h/H za dijelove koji se dobro podmazani jedva mogu ručno pomicati;
- j/J za dijelove koji se češće stavljaju rukom ili lakim pritiskom (ne dolaze u obzir za pomične dijelove u pogonu);
- K/h za dijelove u međusobnom čvrstom spoju koji su rastavljivi bez znatnih sila (za prijenos okretnog momenta potrebno je osiguranje – npr. perom);
- N/h za čvrsto spojene dijelove koji se mogu sastaviti i rastaviti bez znatnih sila;
- N/h (za prijenos okretnog momenta potrebno je osiguranje – npr. perom).

U tablici 4.26. dani su neki primjeri primjene prijelaznih dosjeda.

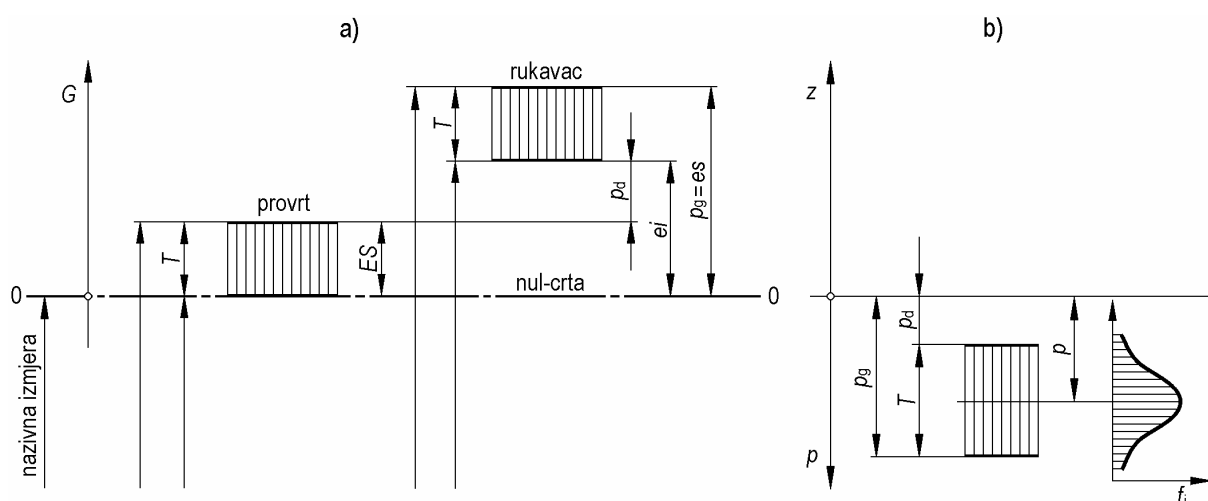
Tablica 4.26. Primjeri primjene prijelaznih dosjeda

DSP	Primjeri primjene prijelaznih dosjeda	DSR
H7/h6 H8/h8 H11/h11	1) Klizni dosjed, uz podmazivanje pomičan rukom: - Za izmjenljiva kola, pinolu u konjicu, prstene za podešavanje, slobodne tuljke svornjaka stapa, vanjske prstene valjnih ležaja, prihrube za usredištenje kod spojki i cijevnih vodova. - Prsteni za podešavanje kod transmisija, jednodijelne čvrste remenice, ručne poluge, zupčanici, spojke i slični dijelovi koji se pomiču na osovini ili vratilu. - Za lakorastavljive dijelove: dijelove poljodjelačkih strojeva koji su na osovini pričvršćeni zatikom, vijkom ili perom, rastojni vijci, svornjaci šamira za vrata ložišta.	H7/h6 H8/h8 H11/h11
H7/j6	2) Pokretni dosjed, rastavljiv drvenim čekićem ili rukom: - Za lakorastavljive remenice, zupčanike, ručna kola, blazinice, vanjske prstene valjnih ležaja i sl.	J7/h6
H7/k6	3) Prilegli dosjed, lakorastavljiv ručnim čekićem: - Za jednokratno nabijene remenice, spojke i zupčanike na osovini od 8 do 50 mm promjera, zamašnjake s tangencijalnim klinovima, unutarnje prstene valjnih ležaja, čvrsta ručna kola i poluge, dosjedne vijke ojnica.	K7/h6
H7/m6	4) Stegnuti dosjed, teško rastavljiv ručnim čekićem: - Za jednokratno nabijene remenice, spojke i zupčanike na osovini od 55 do 120 mm promjera kod strojeva i elektromotora.	M7/h6
N7/h6	5) Uglavljeni dosjedi, rastavljiv tlakom: - Za kotve na osovini motora, ozubljene vijence na kolu, navučena ojačanja na rukavcima, blazinice ležaja i glavina.	H7/n6

Prisni dosjed. Već je rečeno da se prisni ili čvrsti dosjed ostvaruje nasilnim utiskivanjem rukavca većeg promjera u provrt manjeg promjera. Razlika promjera rukavca i provrta predstavlja prijeklop p . Dakle, prijeklop će postojati ako je gornja granična izmjera provrta manja od donje granične izmjere rukavca, odnosno ako je njihova razlika manja od ništice (< 0). Granične vrijednosti dobivaju se sparivanjem najvećih izmjera provrta i rukavca (slika 4.12.).

Najveći prijeklop dobije se sparivanjem rukavaca s najvećim promjerom i provrta s najmanjim promjerom, odnosno tada je $p_{\max} = p_g = es$ (slika 4.17.a). Najmanji prijeklop dobije se sparivanjem rukavaca s najmanjim promjerom i provrta s najvećim promjerom, odnosno tada je $p_{\min} = p_d = ei - ES$. Stvarni prijeklop kreće se u granicama između p_{\max} i p_{\min} , po apsolutnim vrijednostima.

Najveću učestalost f_i imaju srednje veličine prijeklopa, dok je učestalost graničnih prijeklopa mala, odnosno ovi se prijeklopi rjeđe pojavljuju (slika 4.17.b).



Slika 4.17. Područje rasipanja prijeklopa kod prisnog dosjeda
(a - dijagram tolerancijskih polja provrta i rukavca i b - dijagram prijeklopa tolerancije dosjeda)

Tablica 4.27. Izbor tolerancijskih polja rukavca i provrta za prisne dosjede

Kvaliteta	5	6	7	6	7
Rukavac	$n \rightarrow x$	$p \rightarrow z$	$p \rightarrow z$	$h5$	$h6$
Provt	$H6$	$H7$	$H8$	$N \rightarrow X$	$P \rightarrow Z$
Sustav	SJP			SJO	

Tablica 4.28. Primjeri primjene prisnih dosjeda

DSP	Primjeri primjene prisnih dosjeda	DSR
H7/z8, z9 H7/x8, x9 H7/u6, u7	1) Prezažeti i čvrsti dosjedi za velike prisnosti, rastavljivi tlakom ili grijanjem: - Za glavine zupčanika, kola i zamašnjaka, prsteni rukavaca (veća prisnost za veće, a manja za manje promjere – npr. u6)	Z8, Z9/h6 X8, X9/h6 U6, U7/h6
H7/s6 H7/r6	2) Zažeti dosjed za srednje prisnosti, rastavljivi grijanjem i tlakom: - Za glavine spojki, vijence od bronce na glavini od lijevanog željeza, blazinice ležaja u kućištu, kolu i ojnici.	S7/h6 R7/h6

Smjernice za određivanje prisnih dosjeda moraju se ograničiti samo na red

rukavaca i provrta koji omogućuju konstruktoru da nakon ispitivanja svih okolnosti odabere najpovoljniji dosjed. Računom treba utvrditi pri kojoj se najmanjoj prisnosti sigurno prenosi moment vrtnje te koja je najveća prisnost dopuštena, a da se ne prekorače dopuštena naprezanja u materijalu strojnog dijela. Kod sličnih konstrukcija i različitih promjera neće moći zadovoljiti isti dosjed, već će za različite promjere biti potrebno prijeći iz jednog u drugi dosjed radi postizanja istog značenja spoja. Na prisni dosjed utječe: debljina stijenki i krutost konstrukcije, duljina glavine, izvedba rukavca (šuplji ili puni), stanje obrađenih površina koje međusobno dolaze u dosjed, pogonska temperatura i vrsta maziva pri utiskivanju. U tablici 4.27. dan je izbor tolerancijskih polja rukavca i provrta za prisne dosjede, a u tablici 4.28. dani su primjeri prisnih dosjeda.

Prema DIN 7157, prednosti imaju dosjedi navedeni u tablicama 4.22. i 4.23. U tablicama od 4.29. do 4.32. dani su dosjedi 1. i 2. prednosti definirani tako da veličina s predznakom “plus” (+) označava zračnost, a veličina s predznakom “minus” (–) označava prijeklop. Tako npr. za nazivnu izmjeru 70 mm:

- za dosjed H8/e8 očitava se +152 i +60, to znači da će u ovom labavom dosjedu najveća zračnost biti 152 μm , a najmanja 60 μm .
- za dosjed H7/s6 očitava se -29 i -78, a to znači da će u ovom prisnom dosjedu najmanji prijeklop biti 29 μm , a najveći prijeklop 78 μm .
- za dosjed H7/j6 očitava se +37 i -12, što znači da će u ovom prijelaznom dosjedu najveća zračnost biti 37 μm , a najveći prijeklop 12 μm .

Tablica 4.29. Zračnosti dosjeda u dosjednom sustavu rukavca (DSR)

N, mm	Zračnosti dosjeda, μm									
	A11 h11	C11 h11	D10 h11	C11 h9	D10 h9	E9 h9	F8 h9	F8 h8	F8 h6	G7 h6
.... 3	+390 +270	+180 +60	+120 +20	+145 +60	+85 +20	+64 +14	+45 +6	+34 +6	+26 +6	+18 +2
3) ... 6	+420 +270	+220 +70	+153 +30	+175 +70	+108 +30	+80 +20	+58 +10	+46 +10	+36 +10	+24 +4
6) ... 10	+460 +280	+260 +80	+188 +40	+206 +80	+134 +40	+97 +25	+71 +13	+57 +13	+44 +13	+29 +5
10) ... 18	+510 +290	+315 +95	+230 +50	+248 +95	+163 +50	+118 +32	+86 +16	+70 +16	+54 +16	+35 +6
18) ... 30	+560 +300	+370 +110	+279 +65	+292 +110	+201 +65	+144 +40	+105 +20	+86 +20	+66 +20	+41 +7
30) ... 40	+630 +310	+440 +120	+340 +80	+342 +120	+242 +80	+174 +50	+126 +25	+103 +25	+80 +25	+50 +9
40) ... 50	+640 +320	+450 +130	+340 +80	+352 +130	+242 +80	+174 +50	+126 +25	+103 +25	+80 +25	+50 +9
50) ... 65	+720 +340	+520 +140	+410 +100	+404 +140	+294 +100	+208 +60	+159 +30	+122 +30	+95 +30	+59 +10
65) ... 80	+740 +360	+530 +150	+410 +100	+414 +150	+294 +100	+208 +60	+150 +30	+122 +30	+95 +30	+59 +10
80) ... 100	+820 +380	+610 +170	+480 +120	+477 +170	+347 +120	+246 +72	+177 +36	+144 +36	+112 +36	+69 +12
100) ... 120	+850 +410	+620 +180	+480 +120	+487 +180	+347 +120	+246 +72	+177 +36	+144 +36	+112 +36	+69 +12
120) ... 140	+960 +460	+700 +200	+555 +145	+550 +200	+405 +145	+285 +85	+206 +43	+169 +43	+131 +43	+79 +14
140) ... 160	+1020 +520	+710 +210	+555 +145	+560 +210	+405 +145	+285 +85	+206 +43	+169 +43	+131 +43	+79 +14

Tablica 4.29. Zračnosti dosjeda u dosjednom sustavu rukavca (DSR)(nastavak)

N, mm	Zračnosti dosjeda, μm									
	A11 h11	C11 h11	D10 h11	C11 h9	D10 h9	E9 h9	F8 h9	F8 h8	F8 h6	G7 h6
160) ... 180	+1080 +580	+730 +230	+555 +145	+580 +230	+405 +145	+285 +85	+206 +43	+169 +43	+131 +43	+79 +14
180) ... 200	+1240 +660	+820 +240	+645 +170	+645 +240	+470 +170	+330 +100	+237 +50	+194 +50	+151 +50	+90 +15
200) ... 225	+1320 +740	+840 +260	+645 +170	+665 +260	+470 +170	+330 +100	+237 +50	+194 +50	+151 +50	+90 +15
225) ... 250	+1400 +820	+860 +280	+645 +170	+685 +280	+470 +170	+330 +100	+237 +50	+194 +50	+151 +50	+90 +15
250) ... 280	+1560 +920	+940 +300	+720 +190	+750 +300	+530 +190	+370 +110	+267 +56	+218 +56	+169 +56	+101 +17
280) ... 315	+1690 +1050	+970 +330	+720 +190	+780 +330	+530 +190	+370 +110	+267 +56	+218 +56	+169 +56	+101 +17
315) ... 355	+1920 +1200	+1080 +360	+800 +210	+860 +360	+580 +210	+405 +125	+291 +62	+240 +62	+187 +62	+111 +18
355) ... 400	+2070 +1350	+1120 +400	+800 +210	+900 +400	+580 +210	+405 +125	+291 +62	+240 +62	+187 +62	+111 +18
400) ... 450	+2300 +1500	+1240 +440	+880 +230	+995 +440	+635 +230	+445 +135	+320 +68	+262 +68	+205 +68	+123 +20
450) ... 500	+2450 +1650	+1280 +480	+880 +230	+1035 +480	+635 +230	+445 +135	+320 +68	+262 +68	+205 +68	+123 +20

Tablica 4.30. Zračnost dosjeda H/h u dosjednom sustavu rukavca (DSR)

N, mm	Zračnosti dosjeda, μm						
	H11 h11	H11 h9	H9 h11	H9 h9	H8 h9	H8 h8	H7 h6
...3	+120 0	+85 0	+85 0	+50 0	+39 0	+28 0	+16 0
3) ... 6	+150 0	+105 0	+105 0	+60 0	+48 0	+36 0	+20 0
6) ... 10	+180 0	+126 0	+126 0	+72 0	+58 0	+44 0	+24 0
10) ... 18	+220 0	+153 0	+153 0	+86 0	+70 0	+54 0	+29 0
18) ... 30	+260 0	+182 0	+182 0	+104 0	+85 0	+66 0	+34 0
30) ... 50	+320 0	+222 0	+222 0	+124 0	+101 0	+78 0	+41 0
50) ... 80	+380 0	+264 0	+264 0	+148 0	+120 0	+92 0	+49 0
80) ... 120	+440 0	+307 0	+307 0	+174 0	+141 0	+108 0	+57 0
120) ... 180	+500 0	+350 0	+350 0	+200 0	+163 0	+126 0	+65 0
180) ... 250	+580 0	+405 0	+405 0	+230 0	+187 0	+144 0	+75 0
250) ... 315	+640 0	+450 0	+450 0	+260 0	+211 0	+162 0	+84 0
315) ... 400	+720 0	+500 0	+500 0	+280 0	+229 0	+178 0	+93 0
400) ... 500	+800 0	+555 0	+555 0	+310 0	+252 0	+194 0	+103 0

Tablica 4.31. Zračnost (+) i prisnost (-) u dosjednom sustavu provrta (DSP)

N, mm	Zračnost (+) i prisnost (-), μm								
	H6 j6	H6 k6	H7 f7	H7 G6	H7 j6	H7 k6	H7 n6	H7 r6	H7 s6
...3	+8 -4	+6 -6	+26 +6	+18 +2	+12 -4	+10 -6	+6 -10	0 -16	-4 -20
3) ... 6	+10 -6	+7 -9	+34 +10	+24 +4	+14 -6	+11 -9	+4 -16	-3 -23	-7 -27
6) ... 10	+11 -7	+8 -10	+43 +13	+29 +5	+17 -7	+14 -10	+5 -19	-4 -28	-8 -32
10) ... 18	+14 -8	+10 -12	+52 +16	+35 +6	+21 -8	+17 -12	+6 -23	-5 -34	-10 -39
18) ... 30	+17 -9	+11 -15	+62 +20	+41 +7	+25 -9	+19 -15	+6 -28	-7 -41	-14 -48
30) ... 50	+21 -11	+14 -18	+75 +25	+50 +9	+30 -11	+23 -18	+8 -33	-9 -50	-18 -59
50) ... 65	+26 -12	+17 -21	+90 +30	+59 +10	+37 -12	+28 -21	+10 -39	-11 -60	-23 -72
65) ... 80	+26 -12	+17 -21	+90 +30	+59 +10	+37 -12	+28 -21	+10 -39	-13 -62	-29 -78
80) ... 100	+31 -13	+19 -25	+106 +36	+69 +12	+44 -13	+32 -25	+12 -45	-16 -73	-36 -93
100) ... 120	+31 -13	+19 -25	+106 +36	+69 +12	+44 -13	+32 -25	+12 -45	-19 -76	-44 -101
120) ... 140	+36 -14	+22 -28	+123 +43	+79 +14	+51 -14	+37 -28	+13 -52	-23 -88	-52 -117
140) ... 160	+36 -14	+22 -28	+123 +43	+79 +14	+51 -14	+37 -28	+13 -52	-25 -90	-60 -125
160) ... 180	+36 -14	+22 -28	+123 +43	+79 +14	+51 -14	+37 -28	+13 -52	-28 -93	-68 -133
180) ... 200	+42 -16	+25 -33	+142 +50	+90 +15	+59 -16	+42 -33	+15 -60	-31 -106	-76 -151
200) ... 225	+42 -16	+25 -33	+142 +50	+90 +15	+59 -16	+42 -33	+15 -60	-34 -109	-84 -159
225) ... 250	+42 -16	+25 -33	+142 +50	+90 +15	+59 -16	+42 -33	+15 -60	-38 -113	-94 -169
250) ... 280	+48 -16	+28 -36	+160 +56	+101 +17	+68 -16	+48 -36	+18 -66	-42 -126	-106 -190
280) ... 315	+48 -16	+28 -36	+160 +56	+101 +17	+68 -16	+48 -36	+18 -66	-46 -130	-118 -202
315) ... 355	+54 -18	+32 -40	+176 +62	+111 +18	+75 -18	+53 -40	+20 -73	-51 -144	-133 -226
355) ... 400	+54 -18	+32 -40	+176 +62	+111 +18	+75 -18	+53 -40	+20 -73	-57 -150	-151 -244
400) ... 450	+60 -20	+35 -45	+194 +68	+123 +20	+83 -20	+58 -45	+23 -80	-63 -166	-169 -272
450) ... 500	+60 -20	+35 -45	+194 +68	+123 +20	+83 -20	+48 -56	+23 -80	-69 -172	-189 -292

Tablica 4.32. Zračnost (+) i prisnost (-) u dosjednom sustavu provrta (DSP)

N, mm	Zračnost (+) i prisnost (-), μm								
	H11 a11	H11 c11	H11 d9	H9 c11	H8 D9	H8 e8	H8 f7	H8 u8	H8 x8
...3	+390 +270	+180 +60	+105 +20	+145 +60	+59 +20	+42 +14	+30 +6		-6 -34
3) ... 6	+420 +270	+220 +70	+135 +30	+175 +70	+78 +30	+56 +20	+40 +10		-10 -46
6) ... 10	+460 +280	+260 +80	+166 +40	+206 +80	+98 +40	+69 +25	+50 +13		-12 -56
10) ... 14	+510 +290	+315 +95	+203 +50	+248 +95	+120 +50	+86 +32	+61 +16		-13 -67
14) ... 18	+510 +290	+315 +95	+203 +50	+248 +95	+120 +50	+86 +32	+61 +16		-18 -72

Tablica 4.32. Zračnost (+) i prisnost (-) u dosjednom sustavu provrta (DSP)(nastavak)

N, mm	Zračnost (+) i prisnost (-), μm								
	H11 a11	H11 c11	H11 d9	H9 c11	H8 D9	H8 e8	H8 f7	H8 u8	H8 x8
18) ... 24	+560 +300	+370 +110	+247 +65	+292 +110	+150 +65	+106 +40	+74 +20		-21 -87
24) ... 30	+560 +300	+370 +110	+247 +65	+292 +110	+150 +65	+106 +40	+74 +20	-15 -81	-31 -97
30) ... 40	+630 +310	+440 +120	+302 +80	+342 +120	+181 +80	+128 +50	+89 +25	-21 -99	-41 -119
40) ... 50	+640 +320	+450 +130	+302 +80	+352 +130	+181 +80	+128 +50	+89 +25	-31 -109	-58 -136
50) ... 65	+720 +340	+520 +140	+364 +100	+404 +140	+220 +100	+152 +60	+106 +30	-41 -133	-76 -168
65) ... 80	+740 +360	+530 +150	+364 +100	+414 +150	+220 +100	+152 +60	+106 +30	-56 -148	-100 -192
80) ... 100	+820 +380	+610 +170	+427 +120	+477 +170	+261 +120	+180 +72	+125 +36	-70 -178	-124 -232
100) ... 120	+850 +410	+620 +180	+427 +120	+487 +180	+261 +120	+180 +72	+125 +36	-90 -198	-156 -264
120) ... 140	+960 +460	+700 +200	+495 +145	+550 +200	+308 +145	+211 +85	+146 +43	-107 -233	-185 -311
140) ... 160	+1020 +520	+710 +210	+495 +145	+560 +210	+308 +145	+211 +85	+146 +43	-127 -253	-217 -343
160) ... 180	+1080 +580	+730 +230	+495 +145	+580 +230	+308 +145	+211 +85	+146 +43	-147 -273	-247 -373
180) ... 200	+1240 +660	+820 +240	+575 +170	+645 +240	+357 +170	+244 +100	+168 +50	-164 -308	-278 -422
200) ... 225	+1320 +740	+840 +260	+575 +170	+665 +260	+357 +170	+244 +100	+168 +50	-186 -330	-313 -457
225) ... 250	+1400 +820	+860 +280	+575 +170	+685 +280	+357 +170	+244 +100	+168 +50	-212 -356	-353 -497
250) ... 280	+1560 +920	+940 +300	+640 +190	+750 +300	+401 +190	+272 +110	+189 +56	-234 -396	-394 -556
280) ... 315	+1690 +1050	+970 +330	+640 +190	+780 +330	+401 +190	+272 +110	+189 +56	-269 -431	-444 -606
315) ... 355	+1920 +1200	+1080 +360	+710 +210	+860 +360	+439 +210	+303 +125	+208 +62	-301 -479	-501 -679
355) ... 400	+2070 +1350	+1120 +400	+710 +210	+900 +400	+439 +210	+303 +125	+208 +62	-346 -520	
400) ... 450	+2300 +1500	+1240 +440	+785 +230	+995 +440	+482 +230	+329 +135	+228 +68	-393 -587	
450) ... 500	+2450 +1650	+1280 +480	+785 +230	+1035 +480	+482 +230	+329 +135	+228 +68	-443 -637	

Pri određivanju dosjeda uglavnom se propisuju iste kvalitete tolerancija vanjskih i unutarnjih izmjera, ili se za toleranciju unutarnje izmjere (provrta) propisuje nešto grublja kvaliteta od kvalitete tolerancije vanjske izmjere (rukavca). Ovo je posebno važno pri izboru finije kvalitete s obzirom na veće troškove precizne obrade unutarnjih izmjera. Pri izboru prijelaznih dosjeda prednost treba dati finijim kvalitetama jer grublje kvalitete mogu u ekstremnim slučajevima dati vrlo prisne ili vrlo labave dosjede na istoj razini ostvarivanja spoja.

Dobra konstrukcijska rješenja često omogućavaju da se primijeni tolerancija grubljih kvaliteta. Tako se na primjer izbjegavaju statički neodređeni sustavi rješenjem da se ploča oslanja na tri umjesto na četiri točke. Također se konstrukcijski može predvidjeti mogućnost podešavanja zračnosti, kako prilikom montaže tako i nakon istrošenja. Izbjegavanje veoma uskih tolerancija i smanjenje broja neispravnih dijelova moguće je sortiranjem izradaka prilikom završne

kontrole i izborom (sparivanjem) kod montaže. To se u prvom redu odnosi na dijelove valjnih ležaja.

Uske tolerancije dosjeda mogu se ostvariti i sa širim tolerancijskim poljima (manje preciznom izradom) tako da se odstupi od opće međusobne zamjenjivosti dijelova i dosjed ostvari izborno pri sklapanju. Šire tolerancijsko polje podijeli se na nekoliko skupina i tada obavi klasificiranje u razrede. Pri sklapanju se kombiniraju odgovarajući razredi koji će dati željenu toleranciju dosjeda.

Razlikuje se klasificiranje obaju dijelova u sklopu i klasificiranje samo jednog dijela u sklopu. Uglavnom se izabire dio s unutarnjom izmjerom, dok se dio s vanjskom izmjerom izrađuje s dovoljno uskom tolerancijom.

Pozornost treba obratiti na radnu temperaturu izabranog dosjeda. Sve tolerancije koje propisuje ISO-sustav odnose se na sobnu temperaturu koja iznosi 20°C. Izrađeni dijelovi i mjerila moraju na sobnoj temperaturi imati izmjere sukladne propisanim vrijednostima. Međutim, mnogi dijelovi strojeva, aparata i uređaja rade na temperaturama koje se u određenoj mjeri razlikuju od sobne, što uvjetuje promjenu izmjera i tolerancija, odnosno dosjeda, u odnosu na one kod 20°C (vidi točku 4.8.).

4.7. Učestalost stvarnih izmjera i dosjeda

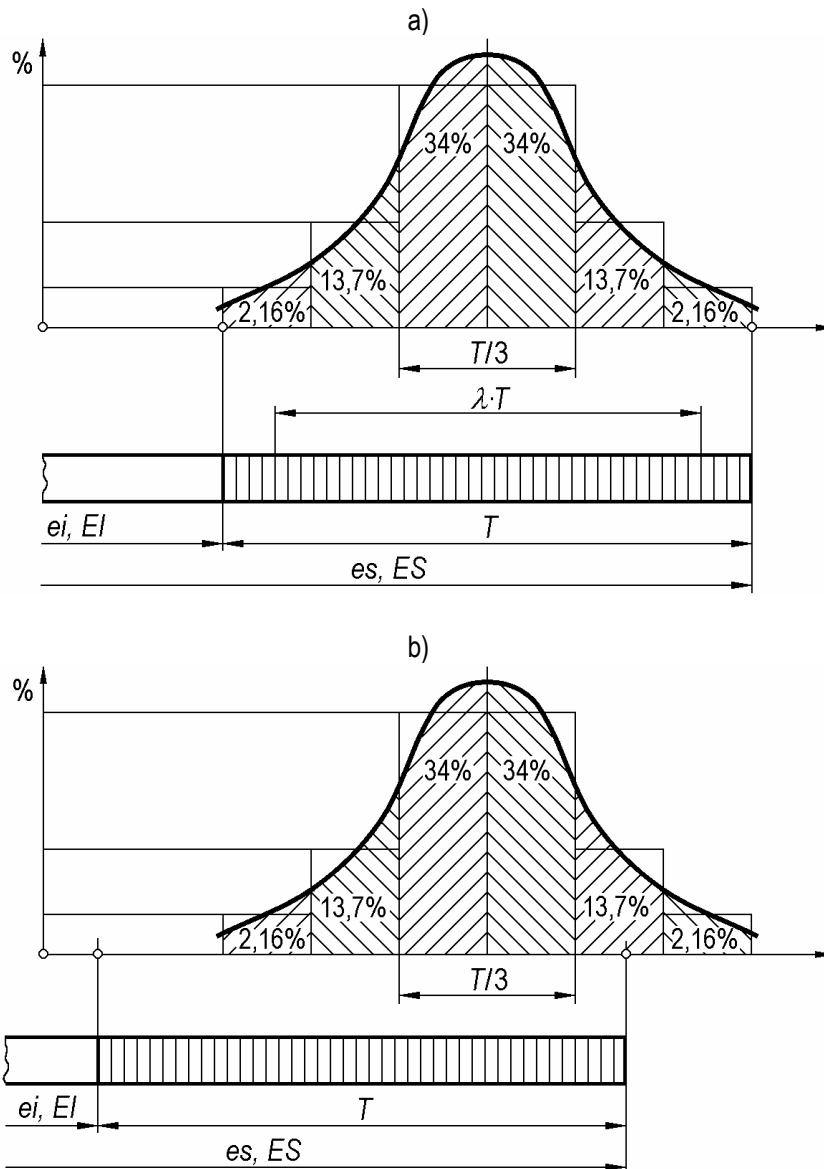
Izradom većeg broja komada jednakih strojnih dijelova nije ih moguće dobiti s jednakom stvarnom izmjerom bez obzira na to što se radi o određenoj toleriranoj izmjeri. Različiti faktori utjecaja dovode do toga da se stvarne izmjere jednakih dijelova razlikuju. Neke od tih izmjera nalazit će se između donje i gornje granične izmjere i tada će to biti ispravno izrađeni strojni dijelovi, a neke će biti izvan graničnih izmjera pa će to biti neispravni izradci. Dio neispravnih izradaka koji se mogu naknadnom doradom svesti na izmjeru definiranu između gornje i donje granične izmjere dovest će se u skupinu ispravnih izradaka, dok će ostali dio neispravnih izradaka biti neupotrebljiv i odbačen kao škart.

U znatnom broju slučajeva važno je ocijeniti s kojom se vjerojatnosti mogu očekivati ostvarivanja pojedinih stvarnih izmjera. To je važno kod dosjeda gdje se kombiniraju stvarne izmjere dvaju dijelova istih nazivnih izmjera ili gdje se veći broj jednakih dijelova montira s drugim elementima u jedinstvenu cjelinu (npr. kuglice, valjci i slični valjni elementi kod valjnih ležaja). Varijacija stvarnih izmjera većeg broja izradaka može nastati kao posljedica sustavnih ili slučajnih odstupanja.

Slučajna odstupanja izratka od zadane izmjere nastaju kao posljedica slučajnih uzroka kao što su pogreške u materijalu, slučajni potresi i vibracije radnog stroja, netočnost mjerenja i drugo. Tijekom izrade nije moguće izbjeći sva slučajna odstupanja.

Sustavna odstupanja pokazuju određenu pravilnost u rasipanju ostvarenih mjernih veličina i mogu biti ili stalna ili promjenjiva. Stalna sustavna odstupanja približno su jednaka za sve izratke, a nastaju zbog pogrešno odabranog stroja za

izradu ili zbog pogreške stroja i alata. Promjenjiva odstupanja mijenjaju se u zavisnosti od tijeka procesa obrade i ponavljaju se periodično (zagrijavanja ili hlađenja strojnih dijelova i alata i slično). Sustavna odstupanja mogu se relativno lako ukloniti uklanjanjem uzroka, nakon što se postojanje i veličina tih odstupanja utvrde i definiraju kontrolom izradaka.



Slika 4.18. Učestalost stvarnih izmjera (a - najveći broj izradaka sa srednjim vrijednostima stvarne izmjere i b - najveći broj izradaka sa stvarnim izmjerama u blizini gornje granične izmjere, tj. pojava sustavnog odstupanja)

Slučajna se odstupanja mogu definirati jedino statističkom obradom rezultata mjerenja većeg broja istih elemenata izrađenih pod jednakim uvjetima. Kao i kod ostalih statističkih metoda, i u ovom se slučaju dobri zaključci mogu izvoditi na temelju dovoljno velikog broja izradaka. Potrebno je klasificirati izratke (uzorke) i svrstati ih po veličini. Brojanjem dijelova s jednakim stvarnim izmjerama može se

izračunati njihova učestalost u ukupnom broju ispitivanih uzoraka i nacrtati dijagram zavisnosti ove učestalosti od veličine stvarne izmjere (stvarnog odstupanja).

U slučajevima kada je obuhvaćen dosta velik broj uzoraka, ako je proizvodnja ustaljena, a sustavna su odstupanja isključena (ako ni jedan od utjecajnih faktora ne dominira nad ostalima), može se očekivati da najveći broj izradaka ima stvarne izmjere približno na sredini, između gornje i donje granične izmjere, i da je broj neispravnih izradaka najmanji. Nagomilavanje brojeva ispitivanih komada u blizini jedne ili druge granične izmjere upućuje na postojanje sustavne pogreške (prevladao je jedan od utjecajnih faktora).

Učestalost dijelova jednakih stvarnih izmjera dobro se poklapa s krivuljom normalne raspodjele po Gaussu, kako je pokazano na slici 4.18. Vjerojatnost dobivanja stvarnih izmjera u određenom području tolerancijskog polja određena je površinom ispod Gaussove krivulje u ovom području.

Statistička ispitivanja pokazala su da uz primjenu postupaka i odgovarajućih strojeva u ustaljenoj proizvodnji (uz svođenje sustavnih odstupanja na najmanju izmjeru) tolerancijsko polje visine T pokriva područje Gaussove krivulje koja obuhvaća 99,73 % od ukupnog broja ispitanih izradaka. Na osnovi toga može se iz Gaussove krivulje izračunati vjerojatnost dobivanja stvarnih izmjera u području bilo koje određene sredine polja tolerancije prema tablici 4.33.

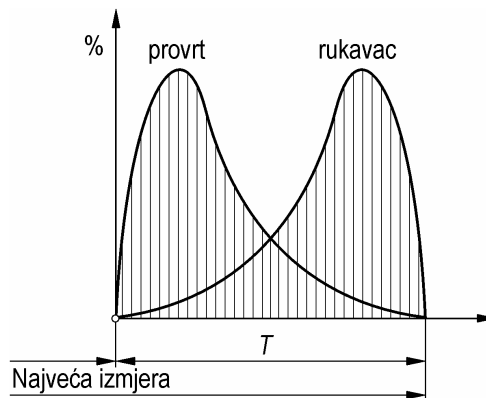
Tablica 4.33. Vjerojatnost dobivanja stvarnih izmjera w i stvarnih zračnosti, odnosno prijeklopa w^2 izvan sredine polja tolerancije $\lambda \cdot T$

λ	w	w^2
1	0,0027	0,000007
0,950	0,0044	0,000019
0,900	0,0070	0,000049
0,850	0,0107	0,000114
0,800	0,0164	0,000270
0,750	0,0244	0,000590
0,700	0,0358	0,001270
0,667	0,0456	0,002080
0,600	0,0718	0,005170
0,550	0,0990	0,009800
0,500	0,1336	0,017830
0,330	0,3200	0,102400

Ako se promatra srednje područje tolerancijskog polja visine $T' = \lambda \cdot T$, gdje je $\lambda = 0 \dots 1$, vjerojatnost izrade dijelova sa stvarnim izmjerama izvan ovog polja tolerancije w dana je u tablici 4.33. Tako na primjer ako se proizvede 100.000 komada pod naprijed navedenim uvjetima uobičajene proizvodnje, može se očekivati da će samo oko 270 izradaka imati stvarne izmjere izvan propisanog tolerancijskog polja; da će se izvan srednjeg dijela tolerancijskog polja visine $T' = 0,9 \cdot T$ naći samo 700 izradaka; da će se 4.560 izradaka naći izvan srednjeg dijela tolerancijskog polja visine $T' = 0,667 \cdot T$, i tako redom.

Analiza vjerojatnosti postizanja određene zračnosti ili prijeklopa pri zadanom dosjedu može se obaviti pomoću dijagrama raspodjele stvarnih izmjera provrta i odgovarajućeg rukavca. S obzirom na to da se jedna određena zračnost ili prijeklop mogu ostvariti kombiniranjem više nizova različitih stvarnih vanjskih (rukavac) i unutarnjih (provrt) izmjera, opravdana su očekivanja mnogo većih nagomilavanja broja sklopova sa srednjom zračnosti ili srednjim prijeklopom.

Vjerojatnost ostvarivanja dosjeda sa zračnosti ili prijeklopom w_n čija je veličina izvan određenog srednjeg područja tolerancije dosjeda $T'_n = \lambda_o \cdot T_o + \lambda_r \cdot T_r$ jednaka je umnošku vjerojatnosti ostvarenja vanjskih izmjera, odnosno rukavca, w_o i unutarnje izmjere odnosno provrta w_r izvan njihovih srednjih vrijednosti tolerancijskog polja, odnosno $w_n = w_o \cdot w_r$. U tablici 4.33. navedene su izračunate vrijednosti $w_n = w^2$, koje odgovaraju istim vjerojatnostima vanjske i unutarnje izmjere ($w_o = w_r$).



Slika 4.19. Učestalosti stvarnih izmjera u pojedinačnoj proizvodnji za provrt i rukavac

Npr. za 100.000 sklopova vjerojatnost dobivanja tolerancije dosjeda izvan srednjeg područja tolerancije dosjeda (uz vjerojatnost ostvarivanja $\lambda = 0,9$) za $w_n = w^2 = 0,000049$ samo je 5 sklopova. Vjerojatnost kombiniranja sklopova dijelova koji daju ekstremne zračnosti ili prijeklope vrlo je mala, odnosno velika je vjerojatnost da se pod normalnim uvjetima proizvodnje dobije dosjed koji odgovara srednjoj vrijednosti zračnosti ili prijeklopa. Zato se u analizama dosjeda najčešće računa sa srednjim vrijednostima zračnosti odnosno prijeklopa, a za preciznije proračune može se računati sa srednjim područjem tolerancijskih polja ($\lambda = 0,9 \dots 0,5$). Sklopovi s ekstremnim vrijednostima zračnosti ili prijeklopa pri montaži mogu se odbaciti.

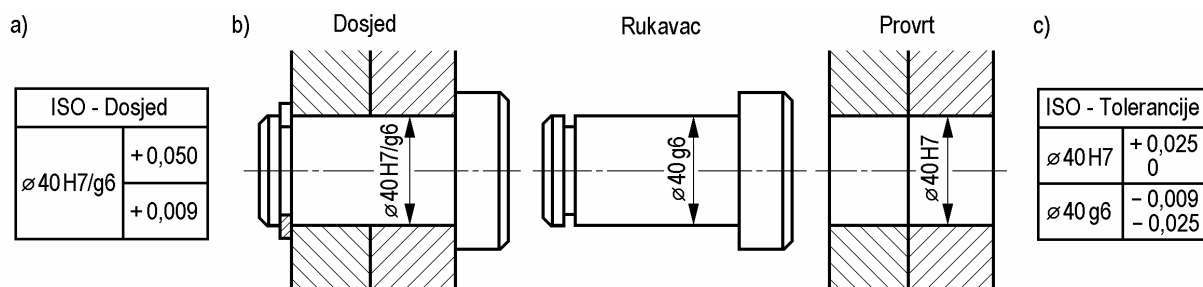
Zakon normalne raspodjele odgovara velikoserijskoj proizvodnji s točno propisanim i vođenim tehnološkim postupkom. U maloserijskoj proizvodnji nastaju znatna odstupanja od ovog zakona (zbog malog broja komada i zbog specifičnog procesa obrade). U pojedinačnoj proizvodnji ova odstupanja od zakona normalne raspodjele mnogo su veća, sasvim su drugog karaktera. Iz više razloga vezanih za pojedinačnu izradu (obradu), ostvaruju se izmjere u blizini dobre (nazivne) izmjere.

Tako se središta grupiranja (krivulja raspodjele) pomiču prema dobrim izmjerama čime se mogućnost ostvarenja ekstremnih zračnosti i prijeklopa povećava (slika 4.19.).

U masovnoj proizvodnji, kao posljedica promjenjivih sustavnih odstupanja može se periodično pojaviti asimetrija raspodjele stvarnih izmjera. U tome važan utjecaj ima zamjena alata ili njegovo povremeno oštrenje te podešavanje stroja. Automatsko podešavanje stroja i zamjena alata uvelike isključuju ovaj negativni utjecaj.

4.8. Označavanje tolerancija duljinskih izmjera na tehničkim crtežima

Slika 4.20. prikazuje način označavanja tolerancija duljinskih izmjera na tehničkim crtežima za dosjed, rukavac i provrt (a). U dijelu tehničkog crteža gdje se nalazi zaglavlje, nalazi se tablica⁶ u kojoj su dane izračunate vrijednosti tolerancija (gornje i donje odstupanje izmjere) i dosjeda u milimetrima.



Slika 4.20. Način označavanja tolerancija duljinskih izmjera na tehničkim crtežima

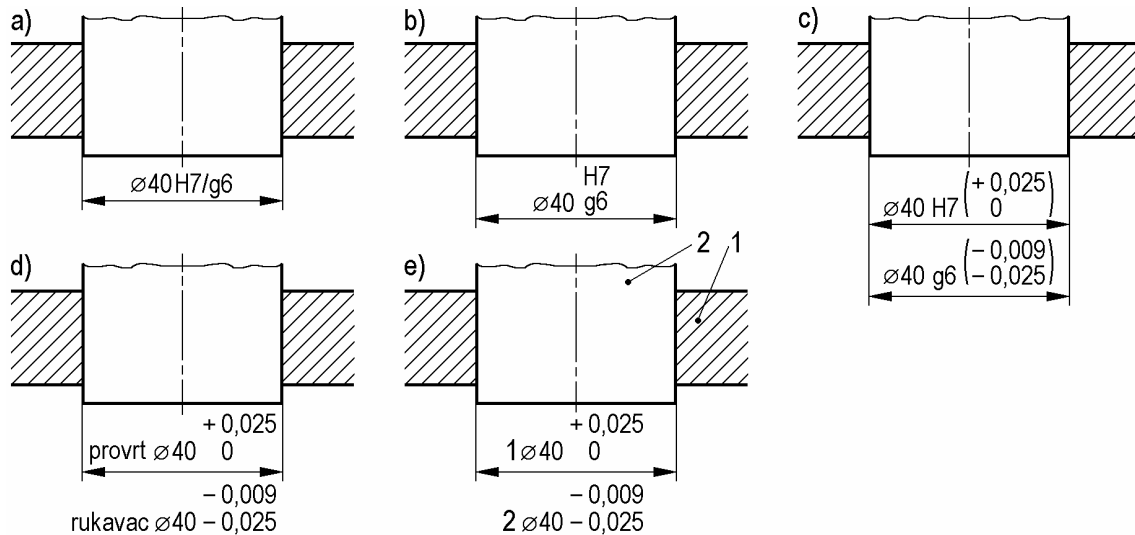
Oznaku tolerancije duljinske izmjere čini kombinacija simbola koji određuju položaj i veličinu tolerancijskog polja. Na primjer, oznaku $\varnothing 40 H7$ ili $\varnothing 40 g6$ čine nazivne izmjere tih oznaka $\varnothing 40$, položaj tolerancijskog polja **H** za provrt, odnosno **g** za osovinu i stupanj temeljne tolerancije IT7, odnosno IT6.

Na osnovi nazivne izmjere i oznake položaja tolerancijskog polja **H**, odnosno polja **g**, određuje se jedno od graničnih odstupanja (slike 4.7., 4.8. i 4.9.). Dodavanjem veličine tolerancije *T* određuje se drugo granično odstupanje. Oba ova odstupanja (gornje i donje) za izabrana tolerancijska polja i za izabrane kvalitete tolerancija prikazuju se tablično, čime je postupak određivanja graničnih odstupanja pojednostavnjen. Prema ISO-sustavu izmjere s tolerancijama označavaju se na crtežima kako je prethodno navedeno za $\varnothing 40 H7$ i $\varnothing 40 g6$, i to tako da se ova oznaka upisuje na sredini kotne crte. Oznaka tolerancije (H7, g6 i slično) koja se upisuje iza kotnog broja ima istu visinu kao i kotni broj.

Prema DIN 406 dopuštena odstupanja izmjera mogu se upisivati ili pomoću tolerancijskih simbola ili izravno u milimetrima (slika 4.21.).

⁶ Može i skraćena oznaka ISO-Tol.(erancije) i ISO-Dos.(jed).

Prema ISO-sustavu dosjedi se na crtežima označavaju tako da se iza kotnog broja upisuju oznake tolerancije provrta i rukavca: $\varnothing 40\text{H7/g6}$ (slika 4.21.a). Osim ovog načina postoje još četiri mogućnosti označavanja dosjeda na tehničkim crtežima.



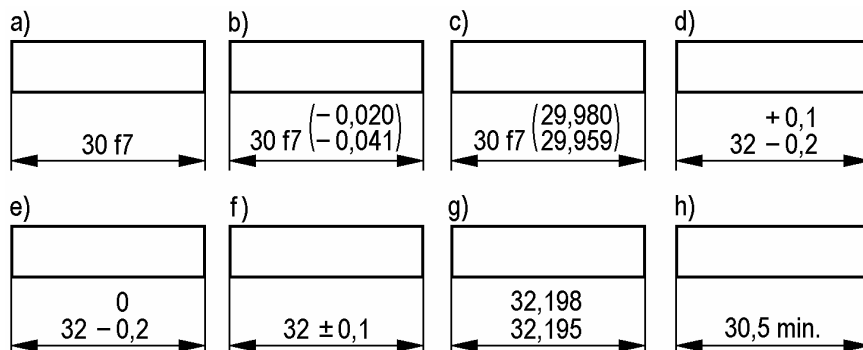
Slika 4.21. Označavanje tolerancija i dosjeda na crtežima

Kod prvog se načina iza kotnog broja $\varnothing 40$ upisuje oznaka tolerancije rukavca g6, a iznad nje oznaka tolerancije provrta H7 (slika 4.21.b).

Kod drugog se načina osim oznaka tolerancije rukavca g6 i tolerancije provrta H7 iza kotnog broja $\varnothing 40$ upisuju vrijednosti odstupanja izravno u milimetrima stavljene u zagrade (slika 4.21.c).

Kod trećeg se načina ispred kotnog broja $\varnothing 40$ upisuje riječ "provrt" ili "rukavac", a iza kotnog broja upisuju se dopuštena odstupanja u mm (slika 4.21.d).

Kod četvrtog se načina ispred kotnog broja $\varnothing 40$ upisuje pozicijski broj dijela s provrtom i rukavca, a iza njih odstupanja u mm. Pozicija 1 odnosi se na dio s provrtom, a pozicija 2 na osovinu (slika 4.21.e).



Slika 4.22. Načini unošenja tolerancija duljinskih izmjera u tehničke crteže

Izbor izmjera koje se unose u crtež i način njihovog unošenja u crtež u jasnoj je vezi s izborom tolerancija duljinskih izmjera, pri čemu treba uzeti u obzir

funkciju dijela, način izrade, mjerenje, kontrole i način sklapanja. Prema ISO 406 na slici 4.22. dani su primjeri unošenja tolerancija duljinskih izmjera u tehničke crteže.

Ako je kao dopunu uz nazivnu izmjeru s oznakom tolerancije (slika 4.22.a) potrebno dati i vrijednosti odstupanja tada se one stavljaju u zagrade iza oznake tolerancije (slika 4.22.b). Najmanja i najveća dopuštena izmjera kao dopunska informacija također se stavljanju u zagrade iza nazivne izmjere s oznakom tolerancije (slika 4.22.c).

Ako su dopuštena odstupanja nazivne izmjere različita upisuju se prema slici 4.22.d. Ako je jedno od dopuštenih odstupanja jednako nuli tada se i označava nulom prema slici 4.22.e. Ako dopuštena odstupanja nazivne izmjere jednaka ali suprotnog predznaka, tada se navodi samo jedno ali s predznakom \pm (slika 4.22.f).

Najmanja i najveća dopuštena izmjera mogu se izravno upisati na tehnički crtež (slika 4.22.g). Ako nazivnu izmjeru treba ograničiti samo u jednom smjeru tada joj se dodaje oznaka min. ili max. (slika 4.22.h).

Na sklopnom, montažnom ili dispozicijskom crtežu daju se izmjere koje su nužne za pravilno sklapanje, kad je to potrebno, s odgovarajućim tolerancijama međusobnog položaja pojedinih ploha.

Na radioničkom ili detaljnom crtežu treba razlikovati:

- funkcijske izmjere (koje su u vezi s kinematičnom shemom stroja, kao i izmjere važne za čvrstoću i krutost elementa),
- montažne izmjere (važne za sklapanje dijelova, odnosno elemenata),
- tehnološke izmjere (važne za učvršćivanje dijela na stroju za obradu) i
- slobodne izmjere, a to su sve ostale izmjere koje nemaju posebnu važnost s obzirom na funkciju, montažu i obradu.

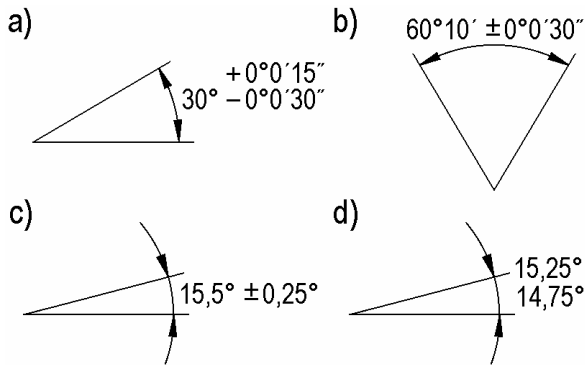
Za koje od navedenih izmjera treba definirati tolerancije ovisi o broju izradaka i mogućnosti njihove izrade i kontrole, ali i o veličini tolerancije slobodnih izmjera. Sustav tolerancija ima posebno važnu ulogu u serijskoj proizvodnji dijelova koji se mogu međusobno mijenjati. Kod pojedinačne proizvodnje ili proizvodnje manjeg broja komada potrebno je analizirati opravdanost propisivanja tolerancija. To se posebno odnosi na pojedinačne proizvode većih dimenzija koji se izrađuju samo po jedan komad. U ovim slučajevima nije uvijek od posebne važnosti da svaki pojedinu dio ima određene tolerancije, važno je jedino definirati toleranciju dosjeda.

Način unošenja duljinskih izmjera u crtež prikazan je u poglavlju o pravilima kotiranja (poglavlje 9.).

Duljinske izmjere za koje su propisane tolerancije kontroliraju se pokaznim i čvrstim mjerilima. Pokazna se mjerila za vrijeme mjerenja mijenjaju i na odgovarajućoj skali pokazuju stvarnu izmjeru predmeta, a čvrsta mjerila sadrže jednu stalnu izmjeru ili više njih, koje se za vrijeme mjerenja ne mijenjaju.

Granična mjerila jesu čvrsta mjerila koja sadrže dvije granične izmjere između kojih mora ležati dimenzija ispravno izrađenog mjerenog predmeta. Ova mjerila

predstavljaju materijalizaciju graničnih izmjera. Mjerenje graničnim mjerilima svodi se na usporedbu izmjera predmeta s graničnim izmjerama. Jedan dio ili mjerni element mjerila provjerava nije li mjerena dimenzija veća od gornje granične izmjere predmeta, a drugi mjerni element mjerila provjerava nije li mjerena dimenzija manja od donje granične izmjere.



Slika 4.23. Načini unošenja tolerancija kutnih izmjera u tehničke crteže

Pravila koja važe za označavanje tolerancija duljinskih izmjera jednako su primjenjiva i kod kutnih izmjera (slika 4.23.). Nazivna izmjera kuta uvijek se unosi na tehničke crteže u stupnjevima, a odstupanja mogu biti izražena bilo u stupnjevima, minutama i sekundama (slike 4.23.a i 4.23.b), bilo kao decimalni dio stupnja (slike 4.23.c i 4.23.d).

4.9. Tolerancije u funkciji temperature

Promjenom temperature mijenjaju se i dimenzije nekog strojnog elementa, a time se mijenjaju i stvarne izmjere otvora ili rukavca. Promjena dimenzija ovisna je o koeficijentu toplinskog rastezanja α (K^{-1}), promjeni temperature ΔT (K) i promjeni veličina promjera rukavca d , odnosno promjera provrta D . Prema preporuci ISO-norme, za osnovnu temperaturu, na kojoj izrađeni dijelovi i odgovarajući uređaji za mjerenje moraju imati izmjere prema normama o toleranciji duljinskih izmjera, usvaja se temperatura od $T_{osn} = 293$ K, odnosno $\vartheta_{osn} = 20$ °C. Promjena promjera ili bilo koje duljinske izmjere za osovinu ili provrt iznosi:

$$\Delta d = \alpha_o \cdot (\vartheta_o - \vartheta_{osn}) \cdot d \quad (4.7)$$

$$\Delta D = \alpha_p \cdot (\vartheta_p - \vartheta_{osn}) \cdot D \quad (4.8)$$

gdje je:

α_o – koeficijent toplinskog rastezanja rukavca, K^{-1}

α_p – koeficijent toplinskog rastezanja provrta, K^{-1}

ϑ_o – radna temperatura rukavca, °C

ϑ_p – radna temperatura provrta, °C

ϑ_{osn} – osnovna temperatura ($\vartheta_{osn} = 20$ °C), °C

d – promjer rukavca, mm

D – promjer provrta, mm

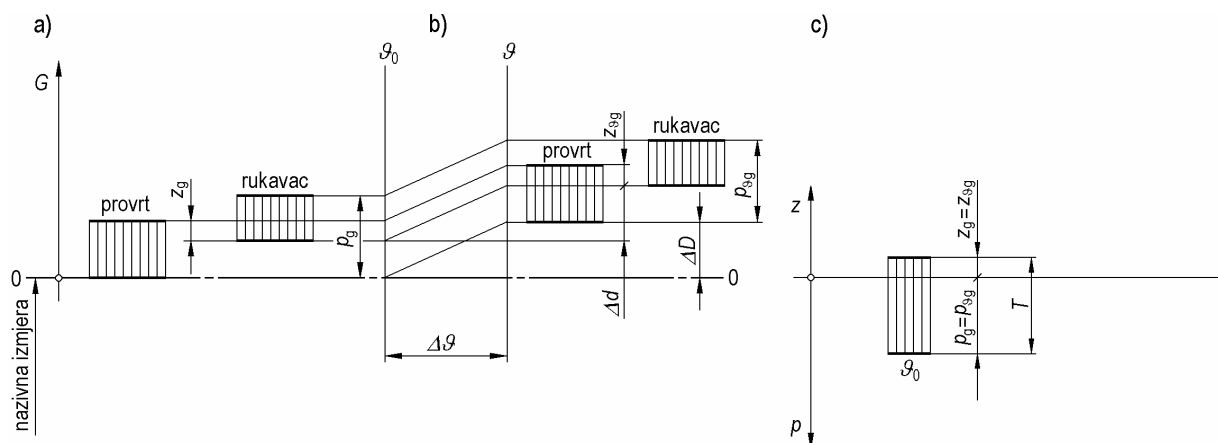
Vrijednosti koeficijenta toplinskog rastezanja za temperaturno područje od 0 do 100°C, što je najčešći slučaj u praksi, dane su u tablici 4.34.

Tolerancijska polja, granične izmjere odnosno granična odstupanja i druge veličine kojima je određen dosjed nematerijalni su (zamišljeni) i nisu podložni utjecaju promjene temperature, jedino se mijenja stvarna izmjera. Kako stvarna izmjera nije unaprijed poznata, za analizu utjecaja promjene temperature uzima se nazivna izmjera.

Tablica 4.34. Koeficijent toplinskog rastezanja α za neke materijale

Materijal	α (K ⁻¹)	Materijal	α (K ⁻¹)
Aluminij i aluminijske slitine	$23 \cdot 10^{-6}$	Čelik invar 36 %Ni	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Bakar	$16,5 \cdot 10^{-6}$	Čelik ugljični	$11,1 \cdot 10^{-6}$
Bronca	$18 \cdot 10^{-6}$	Magnezijske slitine	$24,5 \cdot 10^{-6}$
Cinkove slitine	$28 \cdot 10^{-6}$	Mjedi	$18,4 \cdot 10^{-6}$
Crveni lijev	$19 \cdot 10^{-6}$	Sinterirano željezo	$13 \cdot 10^{-6}$
Čelik nelegirani 0,1 %C	$12 \cdot 10^{-6}$	Sivi lijev	$10,4 \cdot 10^{-6}$
Čelik nelegirani 0,6 %C	$11,7 \cdot 10^{-6}$	Titan	$10,8 \cdot 10^{-6}$
Čelik legirani CrNi	$11,5 \cdot 10^{-6}$	Tvrđi metali	$5,5 \cdot 10^{-6}$
Čelik nehrđajući 18Cr8Ni	$16 \cdot 10^{-6}$	Volfram	$4,5 \cdot 10^{-6}$
Čelik legirani 13 %Cr	$10,5 \cdot 10^{-6}$		

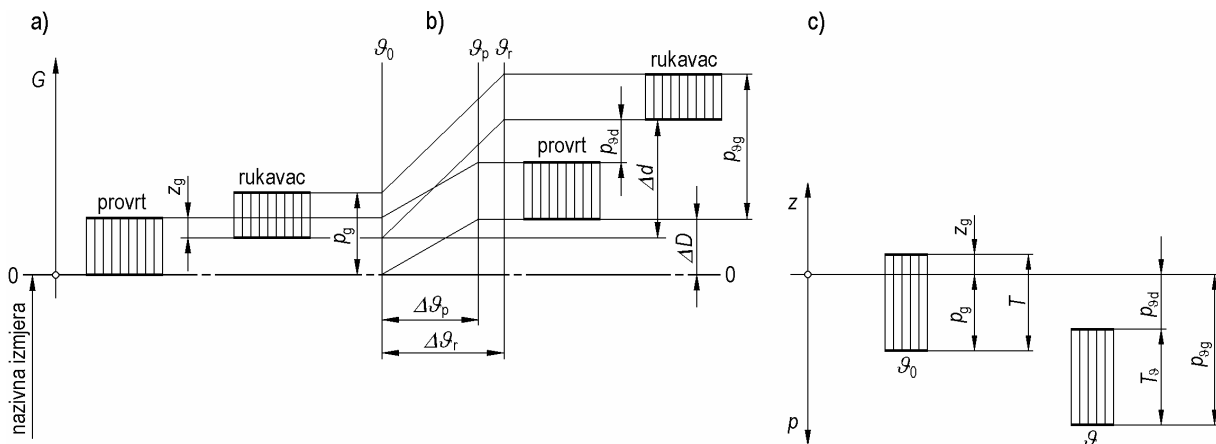
Ako su sklopljeni dijelovi od istih materijala, promjene nazivnih izmjera iste su za iste promjene temperatura tih sklopljenih dijelova, pa se pri tome ne mijenjaju odnos tolerancijskih polja, zračnost i prijeklop i tolerancija naližegavanja (slika 4.24.).



Slika 4.24. Zadržavanje jednakog dosjeda kod promjene temperature (a - dosjed kod osnovne temperature, b - dosjed kod povišene temperature i c - dijagram tolerancije dosjeda za promatrane slučajeve)

Kada koeficijent toplinskog rastezanja materijala provrta α_p nije jednak koeficijentu toplinskog rastezanja materijala rukavca α_0 (tablica 4.34.) te kada promjene temperatura dijela s provrtom i dijela s osovinom nisu jednake, dolazi do promjene dosjeda. Za ovu promjenu dosjeda dovoljno je ispunjenje samo jednog od navedenih uvjeta. Na slici 4.25. shematski su prikazane promjene položaja

tolerancijskih polja i promjene položaja tolerancije dosjeda za $\alpha_o > \alpha_p$ i za $\Delta\vartheta_o > \Delta\vartheta_p$.



Slika 4.25. Utjecaj promjene temperature na promjenu dosjeda (a – prijelazni ili neizvjesni dosjed, b - prisni dosjed kod povišene temperature i c - dijagram tolerancije dosjeda za promatrane slučajeve)

Veličine tolerancijskih polja i tolerancije dosjeda T_g nisu promijenjene, samo je promijenjen položaj. Promjer rukavca d povećan je više od promjera provrta D , zbog čega je i tolerancijsko polje rukavca više pomaknuto. Zagrijavanjem je prijelazni ili neizvjesni dosjed prešao u prisni dosjed. Hlađenjem bi se tolerancijska polja promijenila u suprotnom smjeru. Kako je već rečeno, do ovoga ne dolazi ako su dijelovi od istih materijala i ako se jednako zagrijavaju ili hlade.

4.10. Tolerancije oblika, orijentacije, smještaja i vrtnje

Radi osiguranja kvalitete proizvoda nije dovoljno definirati samo tolerancije duljinskih izmjera. Potrebno je unutar granica tolerancija spriječiti i druge promjene koje se odražavaju na točnost geometrije strojnog dijela. Općenito (prema ISO 1101), ove se tolerancije zovu tolerancije oblika, orijentacije, smještaja i vrtnje odnosno geometrijske tolerancije. Prema karakteristikama koje se toleriraju i načinu na koji se definiraju, tolerirana područja mogu biti:

- površina unutar kruga,
- površina između dva koncentrična kruga,
- površina između dvije ekvidistantne crte ili dva paralelna pravca,
- prostor unutar valjka,
- prostor između dva koaksijalna valjka,
- prostor između dvije ekvidistantne ravnine ili dvije paralelne ravnine i
- prostor unutar paralelepipeda.

U tablici 4.35. dani su osnovni simboli toleriranih karakteristika, u tablici 4.36. dani su dopunski simboli koji se kombiniraju s osnovnim, a u tablici 4.37. neka pravila za ovo kombiniranje prema ISO 1101.

Tablica 4.35. Osnovne oznake tolerancija oblika, orijentacije, smještaja i vrtnje

Vrste značajki i tolerancija		Svojstvo	Simbol
Pojedinačne značajke	Tolerancije oblika	Pravocrtnost	
		Ravnost	
		Kružnost	
		Cilindričnost	
		Oblik crte	
		Oblik plohe	
Pojedinačne i povezane značajke			
Povezane značajke	Tolerancije orijentacije	Paralelnost	
		Okomitost	
		Kut (nagib)	
	Tolerancije smještaja	Položaj (pozicija)	
		Koncentričnost i koaksijalnost	
		Simetričnost	
	Tolerancije vrtnje	Kružnost vrtnje	
		Ravnost i kružnost vrtnje	

Tablica 4.36. Dopunske oznake za kombiniranje s osnovnim oznakama tolerancija oblika, orijentacije, smještaja i vrtnje

Opis		Simbol
Oznaka toleriranog elementa	izravno	
	slovom	
Oznaka referentnog elementa (osnovice)	izravno	
	slovom	
Mjesto referentnog elementa		
Teorijski točna izmjera		
Projicirano područje tolerancije		
Uvjet maksimum - materijala		
Okvir tolerancije		


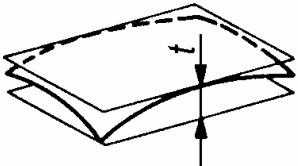
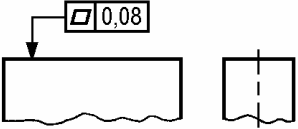
Tablica 4.37. Neka pravila kombiniranja osnovnih i dopunskih oznaka tolerancija oblika, orijentacije, smještaja i vrtnje

Pravilo	Simbol
1) Kod tolerancija oblika crtaju se samo dva pravokutnika.	0,1 0,05 0,02
2) Kod tolerancija položaja stavljaju se i slovne oznake izabranog referentnog elementa prema kojemu se svojstvo uspoređuje (D – E: način za oznaku odvojenih osnovica).	0,1 A 0,02 BC \perp \varnothing 0,2 D-E Φ \varnothing 0,1 A B C
3) Dopunske oznake riječima, npr. 6 provrta ili 6x pišu se iznad okvira tolerancije.	6 provrta 6x Φ \varnothing 0,05 Φ \varnothing 0,05
4) Oznake ostalih svojstava elemenata vezanih za područje tolerancije pišu se uz okvir tolerancije ili se pokaznom crtom povezuju s njime.	0,3 neizbočeno neizbočeno 0,1 A
5) Ako je potrebno označiti više toleriranih svojstava jednog elementa, oznake se upisuju u posebne okvire postavljene jedan ispod drugog.	0,01 Φ 0,05 0,08 AB
6) Vrijedi li tolerancija na ograničenoj dužini, duljina se odvaja kosom crtom od tolerancije (lijevo). Kada se neka uža tolerancija na ograničenoj dužini doda toleranciji cijelog elementa, tada se to upisuje u donjem dijelu okvira (desno).	0,01/100 B 0,1 0,05/200 A
7) Ako za navedenu toleranciju vrijedi uvjet maksimuma materijala (DIN ISO 2692), upisuje se odgovarajući simbol iz tablice 4.36. na jedan od mogućih načina.	Φ \varnothing 0,05 (M) A Φ \varnothing 0,05 A (M) Φ \varnothing 0,05 (M) A (M)

Tablica 4.38. Tolerancija pravocrtnosti

			Tolerancija pravocrtnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno s dva paralelna pravca na udaljenosti t , paralelepipedom osnovice $t_1 \times t_2$ ili valjkom promjera t .
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)		
			<p>Svaka crta gornje plohe mora ležati između dva paralelna pravca na udaljenosti 0,1.</p> <p>Izvodnica plašta na svakih 200 mm duljine mora ležati između dva paralelna pravca na udaljenosti 0,1.</p>
			Os grede mora ležati unutar paralelepipeda osnovice 0,1 x 0,2.
			Os osovinice mora ležati unutar valjka promjera 0,08.


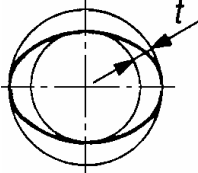
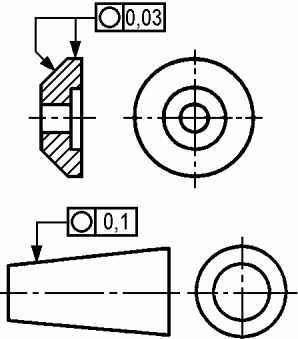
Tablica 4.39. Tolerancija ravnosti

	Tolerancija ravnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvjema paralelnim ravninama na udaljenosti t .	
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)	
		Ploha mora biti između dvije paralelne ravnine na udaljenosti 0,08.


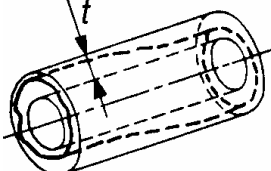
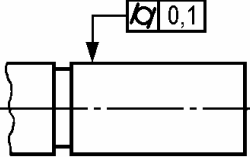
Tablica 4.40. Numeričke vrijednosti tolerancija pravocrtnosti i ravnosti [18]

Mjerena duljina, mm	Stupanj točnosti										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Tolerancija, μm										
do 10	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	
10 do 25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	
25 do 60	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	
60 do 160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	
160 do 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	
400 do 1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	

Tablica 4.41. Tolerancija kružnosti

	Tolerancija kružnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvjema koncentričnim kružnicama na udaljenosti t .	
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)	
		<p>Opseg bilo kojeg poprečnog presjeka na vanjskom promjeru mora biti između dvije koncentrične kružnice na udaljenosti 0,03.</p> <p>Opseg bilo kojeg poprečnog presjeka mora biti između dvije koncentrične kružnice na udaljenosti 0,1.</p>



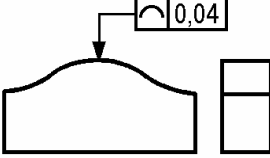
Tablica 4.42. Tolerancija cilindričnosti

	Tolerancija cilindričnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvjema koncentričnim (koaksijalnim) valjcima na udaljenosti t .	
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)	
		Tolerirana ploha mora biti između dva koncentrična (koaksijalna) valjka na udaljenosti 0,1.


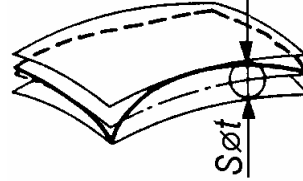
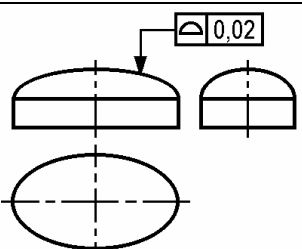
Tablica 4.43. Numeričke vrijednosti tolerancija kružnosti i cilindričnosti [18]

Mjerena duljina, mm	Stupanj točnosti									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Tolerancija, μm									
do 6	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20
6 do 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30
18 do 50	0,8	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
50 do 120	1	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
120 do 260	1,2	1,6	2,5	4	6	10	16	25	44	60


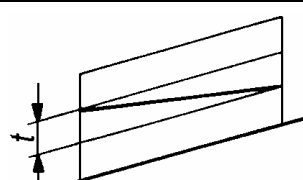
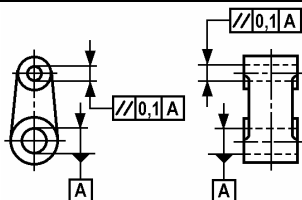
Tablica 4.44. Tolerancija oblika crte

	Tolerancija oblika crte definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvjema crtama koje obuhvaćaju kružnicu promjera t , čije je središte na idealnoj geometrijskoj crti.	
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)	
		U bilo kojem presjeku oblik crte mora biti između dviju crta koje omataju kružnice promjera 0,04, čija su središta na geometrijski idealnoj crti.


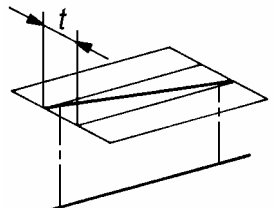
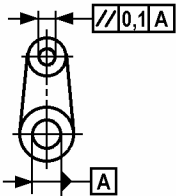
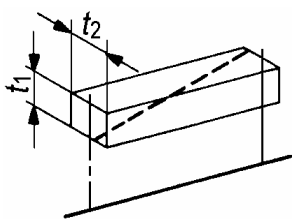
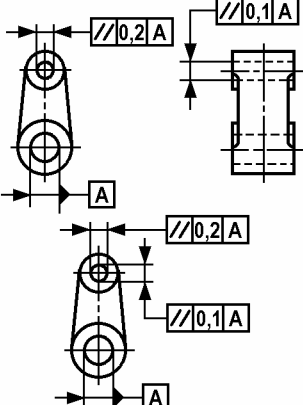
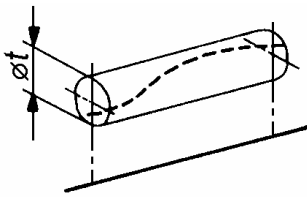
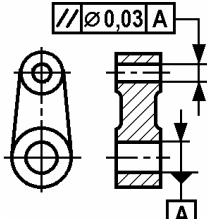
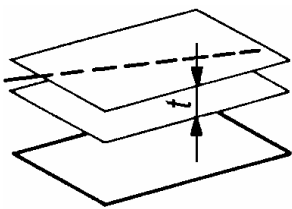
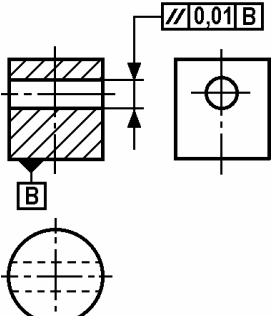
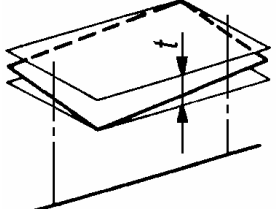
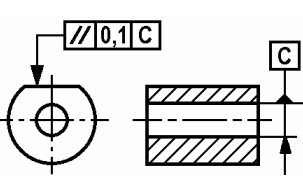
Tablica 4.45. Tolerancija oblika plohe

	Tolerancija oblika plohe definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvjema plohami koje obuhvaćaju kugle promjera t , čija su središta na plohi koja ima pravilan geometrijski oblik.	
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)	
		Tolerirana ploha mora biti između dviju ploha koje obuhvaćaju kugle promjera 0,02 čija su središta na plohi koja ima pravilan geometrijski oblik.


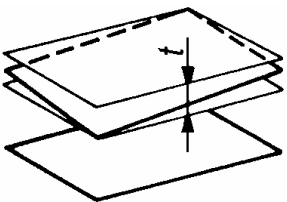
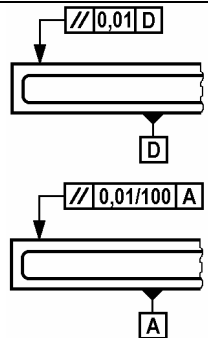
Tablica 4.46. Tolerancija paralelnosti

	Tolerancija paralelnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvama paralelnim pravcima na udaljenosti t , paralelepipedom osnovice $t_1 \times t_2$, valjkom promjera t ili dvjema plohami, koji su uz to paralelni referentnim pravcima ili plohami.	
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)	
		Tolerirana os mora biti između dva pravca na udaljenosti 0,1, koji su paralelni s referentnom osi A i položeni u okomitom pravcu.


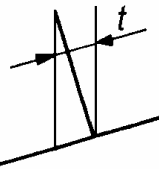
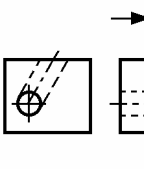
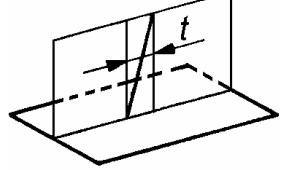
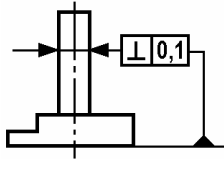
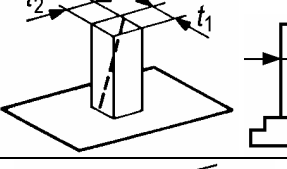
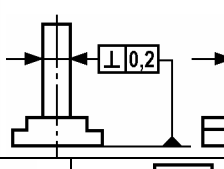
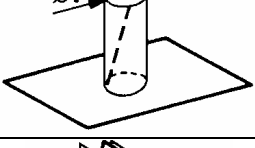
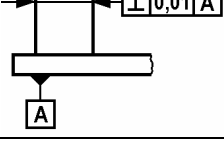
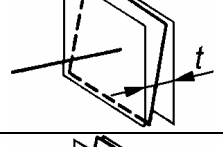
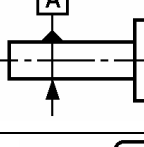
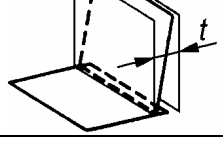
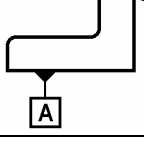
Tablica 4.46. Tolerancija paralelnosti (nastavak)

	Tolerancija paralelnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvama paralelnim pravcima na udaljenosti t , paralelepipedom osnovice $t_1 \times t_2$, valjkom promjera t ili dvjema plohami, koji su uz to paralelni referentnim pravcima ili plohami.
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)
	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Tolerirana os mora biti između dva pravca na udaljenosti 0,1, koji su paralelni s referentnom osi A i položeni u vodoravnom pravcu.</p> </div> </div>
	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Tolerirana os mora biti unutar paralelepipeda osnovice 0,1 x 0,2, koji je paralelan s referentnom osi A.</p> </div> </div>
	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Tolerirana os mora biti unutar valjka promjera 0,03, koji je paralelan s referentnom osi A.</p> </div> </div>
	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Os provrta mora biti između dvije plohe na udaljenosti 0,01, koji su paralelne s referentnom plohom B.</p> </div> </div>
	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Tolerirana ploha mora biti između dva pravca na udaljenosti 0,1, koje su paralelne s referentnom osi C (os provrta).</p> </div> </div>

Tablica 4.46. Tolerancija paralelnosti (nastavak)

	<p>Tolerancija paralelnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvama paralelnim pravcima na udaljenosti t, paralelepipedom osnovice $t_1 \times t_2$, valjkom promjera t ili dvjema ploham, koji su uz to paralelni referentnim pravcima ili ploham.</p>
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)
	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>Tolerirana ploha mora biti između dvije paralelne ravnine na udaljenosti 0,01, koje su paralelne referentnoj plohi D.</p> <p>Sve točke tolerirane plohe na duljini 100 mm, moraju biti između dvije paralelne plohe na udaljenosti 0,01, koje su uz to paralelne referentnoj plohi A.</p> </div> </div>

Tablica 4.47. Tolerancija okomitosti

	<p>Tolerancija okomitosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvama paralelnim pravcima na udaljenosti t, paralelepipedom osnovice $t_1 \times t_2$, valjkom promjera t ili dvjema ploham, koji su uz to okomiti na referentni pravac ili plohu.</p>
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)
	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>Os kosog provrta mora biti između dva paralelna pravca na udaljenosti 0,06, koji su uz to okomiti na os vodoravnog provrta A (referentni pravac).</p> </div> </div>
	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>Os vertikalnog valjka mora biti između dva paralelna pravca na udaljenosti 0,1, koji leže u plohi koja je okomita na referentnu plohu.</p> </div> </div>
	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>Os vertikalnog valjka mora biti unutar paralelepipeda osnovice 0,1 x 0,2, koji je okomit na referentnu plohu.</p> </div> </div>
	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>Os vertikalnog valjka mora biti unutar valjka promjera 0,01, koji je okomit na referentnu plohu A.</p> </div> </div>
	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>Tolerirana ploha mora biti između dvije paralelne ravnine na udaljenosti 0,08, koje su okomite na referentnu os A.</p> </div> </div>
	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>Tolerirana ploha mora biti između dvije paralelne ravnine na udaljenosti 0,08, koje su okomite na referentnu plohu A.</p> </div> </div>

Tablica 4.48. Tolerancija kuta (nagiba)

	<p>Tolerancija kuta definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvama paralelnim pravcima na udaljenosti t ili dvjema paralelnim plohama na udaljenosti t, koji su uz to nagnuti za kut α s obzirom na referentni pravac ili referentnu plohu.</p>
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)
	<p>Os kosog provrta mora biti između dva paralelna pravca na udaljenosti 0,08, koji su uz to nagnuti za kut 60° s obzirom na referentnu os A-B.</p>
	<p>Os provrta, koja se projicira u ravninu u kojoj je referentna os, mora biti između dva paralelna pravca na udaljenosti 0,08, koji su uz to nagnuti za kut 60° s obzirom na referentnu os A-B.</p>
	<p>Os provrta mora biti između dva paralelna pravca na udaljenosti 0,08, koji su uz to nagnuti za kut 60° s obzirom na referentnu plohu A.</p>
	<p>Nagnuta ploha mora biti između dvije paralelne plohe na udaljenosti 0,1, koje su nagnute za kut 75° s obzirom na referentnu os A.</p>
	<p>Nagnuta ploha mora biti između dvije paralelne plohe na udaljenosti 0,08, koje su nagnute za kut 40° s obzirom na referentnu plohu A.</p>

Tablica 4.49. Tolerancija položaja (pozicije)

	<p>Tolerancija smještaja (položaja) definirana je kao odstupanje koje je ograničeno kružnicom promjera t, dvama paralelnim pravcima na udaljenosti t, s paralelepipedom osnovice $t_1 \times t_2$ ili s valjkom promjera t, čije su osi referentne crte.</p>
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)
	<p>Tolerirana točka presjeka mora biti unutar kružnice promjera 0,3, čije je središte u teorijski točnom položaju s obzirom na toleriranu točku presjeka.</p>

Tablica 4.49. Tolerancija položaja (pozicije)(nastavak)

	<p>Tolerancija mjesta ili smještaja definirana je kao odstupanje koje je ograničeno kružnicom promjera t, dvama paralelnim pravcima na udaljenosti t, s paralelepipedom osnovice $t_1 \times t_2$ ili s valjkom promjera t, koje su osi referentne crte.</p>
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)
	<p>Svaka od crta mora biti između dva paralelna pravca na udaljenosti 0,05, koji su simetrično smješteni u teorijski točnom položaju, s obzirom na referentnu plohu A.</p>
	<p>Os svakog od 8 provrta mora biti unutar paralelepipeda osnovice 0,05 x 0,2, čija je os u teorijski točnom položaju s obzirom na promatrani provrt.</p>
	<p>Os provrta mora biti unutar valjka promjera 0,08, čija je os u teorijski točnom položaju s obzirom na promatrane referentne plohe A i B.</p>
	<p>Os svakog od 8 provrta mora biti unutar valjka promjera 0,1, čija je os u teorijski točnom položaju s obzirom na provrt.</p>
	<p>Kosa ploha mora biti unutar dvije paralelne ravnine na udaljenosti 0,05, koje su simetrično postavljene s obzirom na teorijski točan položaj referentne ravnine A i os referentnog valjka B.</p>

Tablica 4.50. Tolerancija koncentričnosti i koaksijalnosti

	<p>Tolerancija koncentričnosti i koaksijalnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno kružnicom promjera t ili valjkom promjera t, čije se središte i os poklapa s referentnom točkom ili osi.</p>
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)
	<p>Središte tolerirane kružnice, označene okvirom tolerancije, mora biti unutar kružnice promjera 0,01, koja je koncentrična središtu referentne kružnice A.</p>
	<p>Os toleriranog valjka mora ležati unutar valjka promjera 0,08, koji je koaksijalan s referentnom osi A - B.</p>

Tablica 4.51. Tolerancija simetričnosti

	Tolerancija simetričnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvjema paralelnim plohama na udaljenosti t , dvama paralelnim pravcima na udaljenosti t ili paralelepipedom osnovice $t_1 \times t_2$.	
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)	
		Ravnina simetrije utora mora biti između dvije paralelne ravnine, koje su razmaknute za 0,08 i simetrično smještene prema ravnini simetrije referentne značajke A.
		Os provrta mora biti unutar dvije paralelne ravnine na udaljenosti 0,08, koje su simetrično položene s obzirom na ravninu simetrije referentnih utora A i B.
		Os provrta mora biti unutar paralelepipeda osnovice $0,1 \times 0,05$, čija je os presječenica zajedničkih ravnina simetrije referentnih utora A-B i C-D.

Tablica 4.52. Tolerancija kružnosti vrtnje

	Tolerancija kružnosti vrtnje definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvjema koncentričnim kružnicama s razmakom t , valjkom duljine t ili stošcem duljine t .	
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)	
		Radijalno odstupanje od kružnosti vrtnje ne smije biti veće od 0,1 u bilo kojoj mjernoj ravnini za vrijeme jednog okretaja oko referentne osi A-B.
		Radijalno odstupanje od kružnosti vrtnje ne smije biti veće od 0,2 u bilo kojoj mjernoj ravnini, kada se tolerirani rotacijski dio mjeri oko središnjice provrta A.

Tablica 4.52. Tolerancija kružnosti vrtnje (nastavak)

	Tolerancija kružnosti vrtnje definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvjema koncentričnim kružnicama s razmakom t , valjkom duljine l ili stošcem duljine l .	
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)	
		Aksijalno (osno) odstupanje od kružnosti vrtnje ne smije biti veće od 0,1 u bilo kojem položaju mjerenja za jedan okretaj oko referentne osi D.
		Odstupanje od kružnosti vrtnje u smjeru strelice ne smije biti veće od 0,1 u bilo kojem mjernom stošcu za vrijeme jednog okretaja oko referentne osi C.
		Odstupanje od kružnosti vrtnje u smjeru okomitom na tangentu zakrivljene plohe ne smije biti veće od 0,1 u bilo kojem mjernom stošcu za vrijeme jednog okretaja oko referentne osi C.

Tablica 4.53. Tolerancija ravnosti i kružnosti vrtnje

	Tolerancija ravnosti i kružnosti vrtnje definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvjema koaksijalnim valjcima na udaljenosti l (kojih se os podudara s referentnom osi) ili dvjema paralelnim ravninama na udaljenosti l okomitom na referentnu os.	
Definicija područja tolerancije	Primjeri (prikaz i pojašnjenja)	
		Tolerancija ravnosti i kružnosti vrtnje ne smije biti veća od 0,1 u bilo kojoj točki na određenoj plohi za vrijeme nekoliko okretaja oko referentne osi A-B s relativnim aksijalnim pomakom mjernog instrumenta po strojnom dijelu.
		Tolerancija ravnosti i kružnosti vrtnje ne smije biti veća od 0,1 u bilo kojoj točki na određenoj plohi za vrijeme nekoliko okretaja oko referentne osi D s relativnim radijalnim pomakom mjernog instrumenta po strojnom dijelu.

Tablica 4.54. Numeričke vrijednosti tolerancija kružnosti vrtnje [18]

Mjerena duljina, mm	Stupanj točnosti									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Tolerancija, μm									
do 6	-	-	3	5	8	12	20	30	50	80
6 do 18	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
18 do 50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
50 do 120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
120 do 260	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200

Tablica 4.55. Numeričke vrijednosti tolerancija ravnosti i kružnosti vrtnje [18]

Mjerena duljina, mm	Stupanj točnosti									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Tolerancija, μm									
do 6	-	-	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
6 do 18	0,8	1	2	3	5	8	12	20	30	50
18 do 50	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
50 do 120	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
120 do 260	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100

4.11. Tekstura (hrapavost) tehničkih površina

4.11.1. Važnost stanja tehničkih površina

Tehničke su površine sve one površine strojnih dijelova koje su dobivene nekom od obrada odvajanjem čestica ili nekom od obrada bez odvajanja čestica. One su tijekom obrade i eksploatacije strojnih dijelova izložene djelovanju različitih vrsta opterećenja, kao što su npr.: mehanička, toplinska, električna, kemijska ili biološka (moguće su i kombinacije). Najznačajnija su međutim mehanička i kemijska opterećenja, a njihova česta posljedica je habanje (trošenje) dijelova i korozija.

Tehničke površine nisu idealno glatke geometrijske plohe koje razdvajaju dva medija, nego su to, mikroskopski gledano, hrapave plohe karakterizirane nizom neravnina raznih veličina, oblika i rasporeda. Posljedica tome jesu postupci obrade odvajanjem čestica ili postupci obrada bez odvajanja čestica. Veličina hrapavosti tehničkih površina može utjecati:

- na smanjenje dinamičke izdržljivosti (odnosno, smanjenje čvrstoće oblika);
- na pojačano trenje i habanje tarno (tribološki) opterećenih površina;
- na smanjenje prijeklopa kod steznih spojeva, a time i smanjenje nosivosti steznog spoja;
- na ubrzavanje korozije.

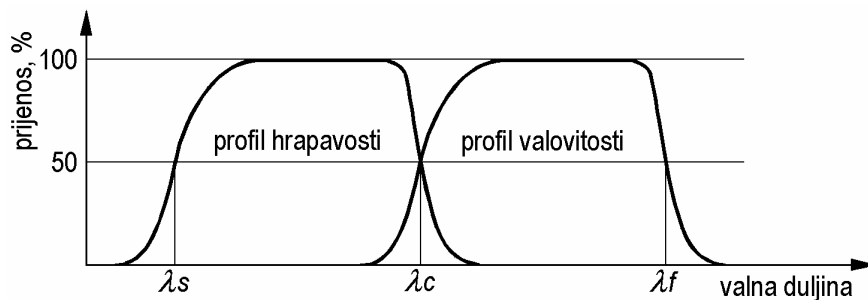
4.11.2. Osnovni pojmovi

Osnovni pojmovi o hrapavosti tehničkih površina dani su prema normi ISO 4287.

Površinska hrapavost je sveukupnost mikrogeometrijskih nepravilnosti na površini predmeta (koje su mnogo puta manje od površine cijelog predmeta), a prouzrokovane su postupkom obrade ili nekim drugim utjecajima.

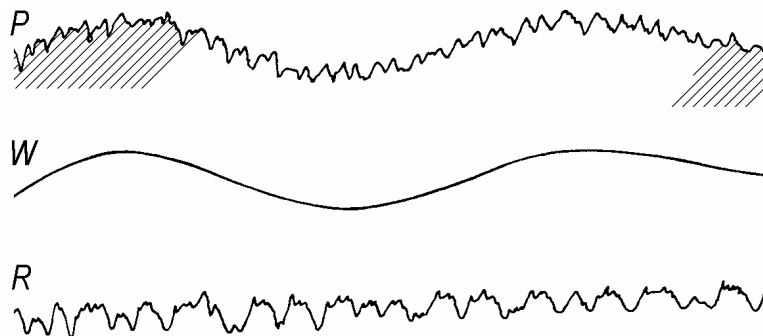
Profil površine predstavlja presjek realne površine s određenom ravninom (vidi sliku 4.28.).

Profilni filter je filter koji razdvaja profile na dugovalne i kratkovalne komponente [ISO 11562]. Postoje tri filtra koji se koriste u uređajima kojima se mjeri hrapavost, valovitost i primarni profili (vidi sliku 4.26.). Svi imaju iste prijenosne značajke, definirane u ISO 11562, ali različite granične valne duljine.



Slika 4.26. Prijenosne karakteristike profila hrapavosti i valovitosti

Sve pojave analiziraju se u pravokutnom koordinatnom sustavu u kojem su osi X i Y smještene u promatranu realnu površinu, a os Z usmjerena je na susjedni medij. Os X pritom je orijentirana u smjeru profila hrapavosti (vidi sliku 4.28.).



Slika 4.27. Razlučivanje P , W i R karakteristika profila

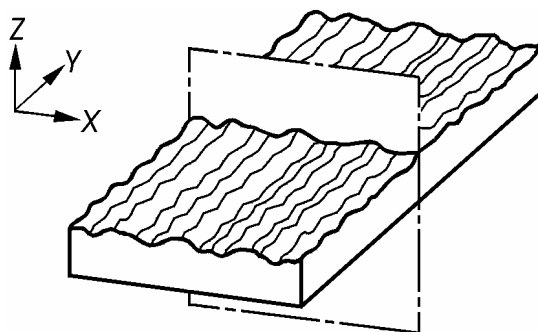
Profil hrapavosti (R) je profil koji se izvodi iz primarnog profila zanemarujući dugovalne komponente korištenjem profilnog filtra λ_c . Profil hrapavosti osnova je za mjerenje parametara hrapavosti profila.

Profil valovitosti (W) je profil koji proizlazi iz **primarnog profila (P)**⁷ primjenom profilnih filtera λ_f i λ_c .

Na slici 4.27. prikazano je razlučivanje P , W i R karakteristika profila.

⁷ Primarni profil je osnova za ocjenu parametara primarnog profila (vidi ISO 3274).

Srednja crta profila se definira posebno za primarni profil, profil hrapavosti i profil valovitosti. Za primarni profil se dobiva metodom najmanjeg kvadrata, to jest ona dijeli profil tako da je unutar duljine l zbroj kvadrata svih odstupanja profila Z od te crte najmanji, a za hrapavost i valovitost se upotrebljavaju profilni filtri λ_c i λ_f .



Slika 4.28. Profil površine s prikazom koordinatnog sustava

Referentna duljina (duljina uzorka) l_p , l_r , l_w je duljina u pravcu osi X koja se koristi za ustanovljavanje nepravilnosti koje karakteriziraju profile koji se mjere.

Duljina uzorka profila hrapavosti l_r i valovitosti l_w brojčano je jednaka karakterističnoj valnoj duljini profilnih filtera λ_c i λ_f . Duljina uzorka primarnog profila l_p jednaka duljini vrednovanja (ocjenjivanja).

Duljina vrednovanja l_n je razmak u pravcu osi X koja se koristi za vrednovanje profila koji se mjeri. Može sadržavati jednu ili više referentnih duljina. Za dogovorene duljine vrednovanja vidi ISO 4288:1996, tablica 4.56.

Tablica 4.56. Prikladne referentne duljine prema ISO 4288 (Cutoff) λ (DIN 4768)

Periodični profili	Neperiodični profili		Granična valna duljina	Duljina vrednovanja/referentna duljina
Širina elementa X_s , mm	R_z , μm	R_a , μm	λ , mm	l_n/l_r , mm
>0,01 do 0,04	do 0,1	do 0,02	0,08	0,08/0,4
>0,04 do 0,13	>0,1 do 0,5	>0,02 do 0,1	0,25	0,25/1,25
>0,13 do 0,4	>0,5 do 10	>0,1 do 2	0,8	0,8/4
>0,4 do 1,3	>10 do 50	>2 do 10	2,5	2,5/12,5

Vrijednost ordinate $Z(x)$ je visina mjenog profila u bilo kojoj točki X .

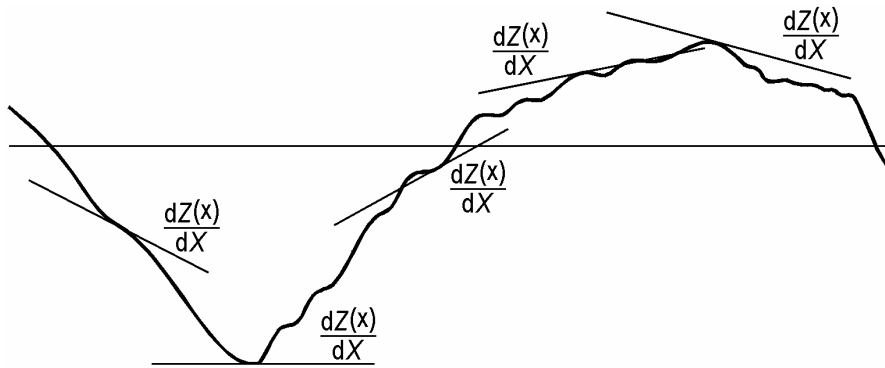
Visina se smatra negativnom ako ordinata leži ispod osi X , dok se u suprotnom slučaju smatra pozitivnom.

Lokalni nagib dZ/dX je nagib mjenog profila u položaju x_i (vidi sliku 4.29.). Približno se procjenjuje na temelju izraza (4.9.).

$$\frac{dz_i}{dx} = \frac{1}{60\Delta x} (z_{i+3} - 9z_{i+2} + 45z_{i+1} - 45z_{i-1} + 9z_{i-2} - z_{i-3}) \quad (4.9)$$

Visina izbočine profila Z_p je udaljenost između osi X i najviše točke izbočine profila.

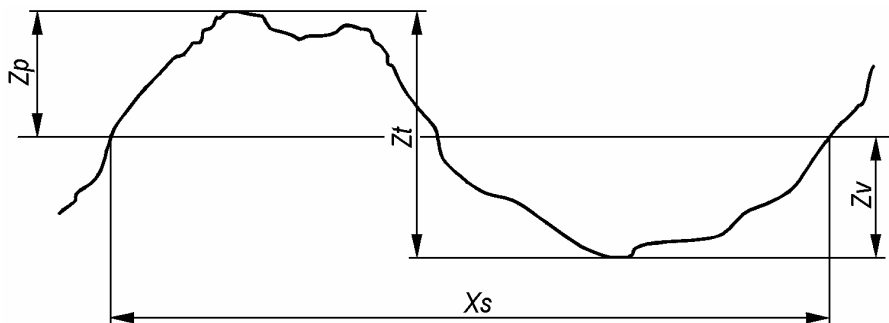
Dubina udubine profila Z_v je udaljenost između osi X i najniže točke udubine profila (slika 4.30.).



Slika 4.29. Lokalni gradijenti profila površine

Visina elementa profila Z_t je zbroj visine vrha i dubine dna elementa profila (vidi sliku 4.30.). Isto tako se X_s zove **širina** elementa profila, koja se prikazuje kao duljina isječka osi X koji sječe profilni element.

Maksimalna visina izbočine profila P_p , R_p ili W_p najveća je visina izbočine profila Z_p na duljini vrednovanja, a **maksimalna dubina udubine profila P_v , R_v ili W_v** najveća je dubina udubine profila Z_v na istoj duljini (vidi sliku 4.30.).

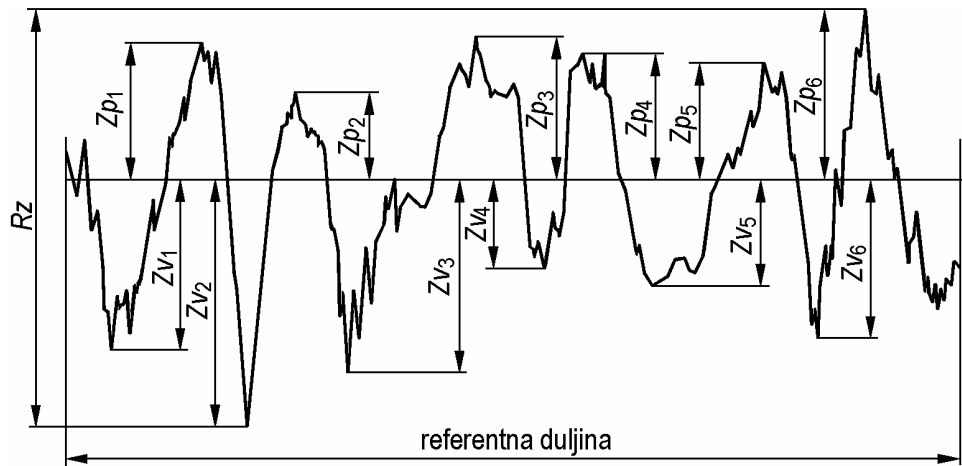


Slika 4.30. Element profila površine

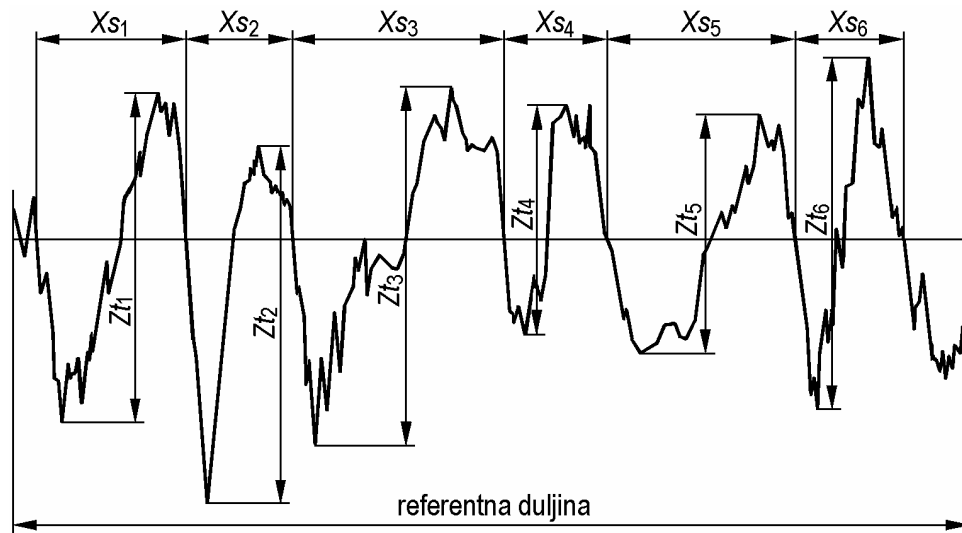
Maksimalna visina profila P_z , R_z ili W_z zbroj je visine najveće visine izbočine profila Z_p i najveće dubine udubine profila Z_v na duljini vrednovanja. ISO-norma iz 1984. godine rabi simbol R_z s drukčijom definicijom pa se mora paziti pri korištenju postojećih tehničkih crteža i dokumentacije, jer razlike nisu uvijek zanemarivo male.

Srednja visina elemenata profila P_c , R_c ili W_c srednja je vrijednost elementa profila Z_t na referentnoj duljini.

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i} \quad (4.10)$$



Slika 4.31. Maksimalne vrijednosti na profilu hrapavosti

Slika 4.32. Parametri X_s i Z_t na duljini vrednovanja

Ukupna visina profila P_t , R_t ili W_t predstavlja zbroj najveće visine profila vrha Z_p i najveće dubine dna profila Z_v na duljini vrednovanja. S obzirom na to da su P_t , R_t i W_t definirane na duljini vrednovanja, a ne na referentnoj duljini, za svaki profil vrijedi:

$$P_t \geq P_z, R_t \geq R_z, W_t \geq W_z \quad (4.11)$$

Srednje aritmetičko odstupanje mjenog profila P_a , R_a ili W_a aritmetički je prosjek apsolutne ordinatne vrijednosti $Z(x)$ na referentnoj duljini

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx. \quad (4.12)$$

Pri tome je $l = l_p$, l_r ili l_w , ovisno o parametru.

Tablica 4.57. Usporedba nekih osnovnih pojmova ISO 4287-1:1984 i ISO 4287:1996

Osnovni pojmovi	Izdanje iz 1984	Izdanje iz 1996
Duljina uzorka	l	$lp, lw, lr^{1)}$
Duljina vrednovanja	ln	ln
Vrijednost ordinate	y	$Z(x)$
Lokalni nagib	-	$\frac{dZ}{dX}$
Visina vrha profila	yp	Zp
Dubina dna profila	yv	Zv
Visina elementa profila	-	Zt
Širina elementa profila	-	Xs
¹⁾ Duljina uzorka tri različita profila: lp (primarni profil), lw (profil valovitosti) i lr (profil hrapavosti).		

Tablica 4.58. Usporedba nekih osnovnih parametara površine ISO 4287-1:1984 i ISO 4287:1996

Parametri	1984.	1996.	Određeni na	
			duljini vrednovanja ln	referentna duljini $lr^{1)}$
Maksimalna visina vrha profila	Rp	$Rp^{2)}$		x
Maksimalna dubina dna profila	Rm	$Rv^{2)}$		x
Maksimalna visina profila	Ry	$Rz^{2)}$		x
Srednja visina profila	Rc	$Rc^{2)}$		x
Ukupna visina profila	-	$Rt^{2)}$	x	
Srednje aritmetičko odstupanje mjenog profila	Ra	$Ra^{2)}$		x
Odstupanje srednjeg korijena mjenog profila	Rq	$Rq^{2)}$		x
Srednja širina profila elemenata	Sm	$Rsm^{2)}$		x
Nagib srednjeg korijena mjenog profila	Δq	$R\Delta q^{2)}$		x
"Ten point height" (poništen kao ISO parametar)	Rz	-	-	-
¹⁾ Ova duljina uzorka je lr , lw i lp za R -, W - i P - parametre; lp jednak je ln				
²⁾ Parametri definirani za tri profila: primarni profil, profil valovitosti i profil hrapavosti. Tablica sadrži samo parametre profila hrapavosti.				

Srednje kvadratno odstupanje mjenog profila Pq , Rq ili Wq vrijednost je srednjeg korijena ordinatne vrijednosti $Z(x)$ na referentnu duljinu:

$$Pq, Rq, Wq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx} . \quad (4.13)$$

Pri tome je $l = lp$, lr ili lw , ovisno o slučaju.

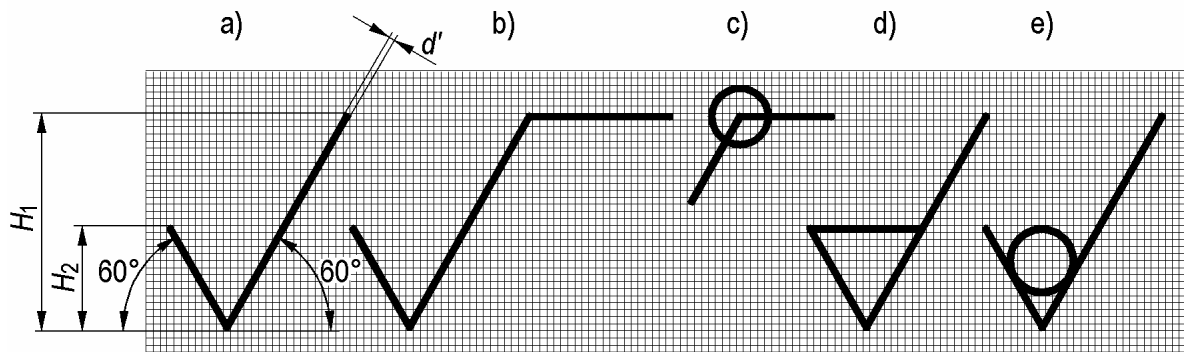
Zbog relativno velikih promjena u novom izdanju ISO 4287, u tablicama 4.57. i 4.58. dane su usporedne vrijednosti nekih pojmova aktualnog i prethodnog izdanja norme.

4.11.3. Označavanje hrapavosti tehničkih površina na tehničkim crtežima

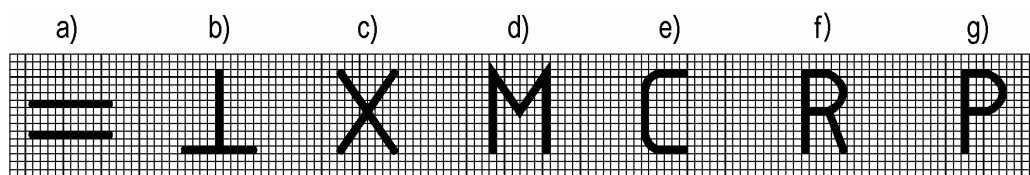
Oznakom ili simbolom na tehničkim se crtežima označavaju određene površine kako bi se propisala njihova hrapavost i način obrade za njezino

postizanje. Simboli hrapavosti pri obradi odvajanjem ili bez odvajanja čestica dani su normom ISO 1302-2001. Postoje *osnovni* i *dopunski* simboli koji opisuju stanje površina.

Osnovni grafički simbol sastoji se od dviju ravnih crta nejednake duljine nagnute za 60° u odnosu na crtu koja predstavlja označenu površinu, kao što pokazuje slika 4.33.a. Osnovni grafički simbol ne upotrebljava se bez dopunskih oznaka.



Slika 4.33. Građa simbola za označavanje kvalitete obrađenih površina na tehničkim crtežima - osnovni i dopunski simboli i njihove izmjere prema tablici 4.61



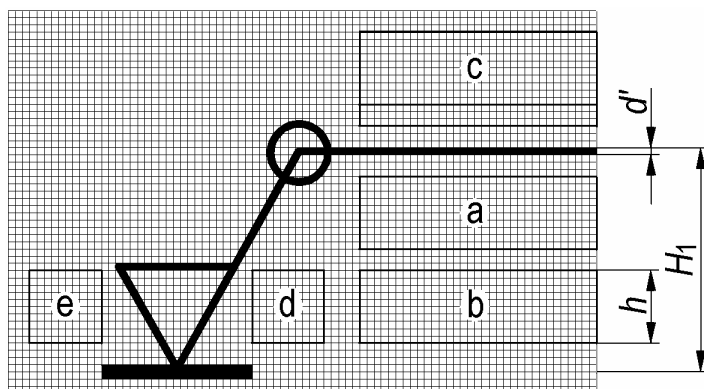
Slika 4.34. Građa simbola za označavanje kvalitete obrađenih površina na tehničkim crtežima - dopunski znakovi i slova

Za usklađivanje veličine simbola s ostalim natpisima na tehničkim crtežima (kote, tolerancije itd.) primjenjuje se ISO 81714-1. Osnovni grafički simbol i njegove dopune crtaju se prema slikama 4.33., 4.34. i 4.35. Oblik simbola na slikama od 4.34.c do 4.34.g isti je kao kod velikih slova prema ISO 3098-2:2000 (oblik B, uspravno). Dimenzije simbola prikazane su u tablici 4.59.

Ako se zahtijeva strojno odvajanje čestica potrebno za postizanje tražene površinske obrade, potrebno je dodati horizontalnu ravnu crtu na osnovni grafički simbol, slika 4.33.d. Ako nije dopušteno odvajanje čestica radi postizanja tražene površinske obrade, potrebno je dodati kružnicu na osnovni grafički simbol, slika 4.33.e. Takvi simboli zovu se *prošireni simboli*.

Tablica 4.59. Izmjere oznaka na slikama 4.33. i 4.35.

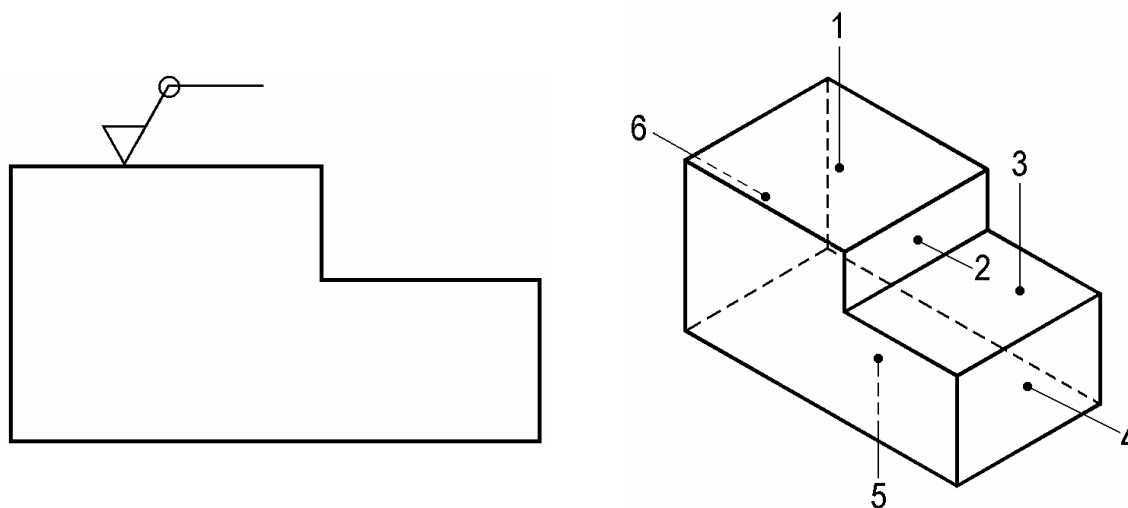
Visina brojki i slova, h (vidi ISO 3098-2)	2,5	3,5	5	7	10	14	20
Debljina crte za simbole d'	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
Debljina crte za slova d							
Visina H_1	3,5	5	7	10	14	20	28
Visina H_2	7,5	10,5	15	21	30	42	60



Slika 4.35. Građa simbola za označavanje kvalitete obrađenih površina na tehničkim crtežima - potpuni grafički simbol i njihove izmjere prema tablici 4.61. (slova u području c mogu biti velika ili mala, a visina ovog područja može biti veća od h kako bi se omogućila uporaba velikih i malih slova)

a) osnovni grafički simbol za teksturu površine	prošireni grafički simboli	
	b) obrada odvajanjem čestica	c) obrada bez odvajanja čestica
potpuni grafički simboli		
d) svi postupci dopušteni	e) obrada odvajanjem čestica	f) obrada bez odvajanja čestica

Slika 4.36. Grafički simboli za označavanje hrapavosti površine



Slika 4.37. Grafički simbol za sve površine izratka (Zahtjev za hrapavost šest površina predstavljenih konturom izratka. Kontura na crtežu (lijevo) predstavlja šest površina prikazanih na 3D prikazu (desno) izratka - **ne predstavlja prednju i stražnju površinu!**)

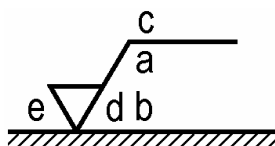
Kada treba postaviti potpune zahtjeve za hrapavost površine, potrebno je dodati crtu na duži slobodni dio kraka grafičkog simbola za osnovni i prošireni simbol (slika 4.35.).

Za uporabu u pisanom tekstu – na primjer, izvještaji ili ugovori – tekstualne oznake za grafičke simbole na slici 4.36. jesu: d) – APA, e) – MRR i f) – NMR.

Kada je ista hrapavost površine zahtijevana na svim površinama izratka predstavljenim na crtežu zatvorenom konturom izratka, potrebno je dodati kružnicu na potpuni grafički simbol, kao što je prikazano na slici 4.37.

Zbog jednoznačnosti označavanja zahtjeva za hrapavosti površine potrebno je, osim naznake stupnja hrapavosti površine i njegovog iznosa, navesti i dodatne zahtjeve (npr. duljina vrednovanja ili referentna duljina, proizvodni postupak, vrsta površinskih tragova i njihova orijentacija ili mogući dodatak za strojnu obradu). Može biti postavljeno i nekoliko različitih zahtjeva na hrapavosti površina radi osiguranja funkcionalnosti površine.

Za ovu svrhu upotrebljava se *potpuni grafički simbol*. Oznake smještaja različitih zahtjeva na hrapavost površine u potpunom grafičkom simbolu prikazane su na slici 4.38.



Slika 4.38. Položaj oznaka dopunskih zahtjeva (od a do e)

Zahtjevi na hrapavost površine trebaju biti smješteni na sljedeće položaje u potpunom grafičkom simbolu (slika 4.38.):

Položaj a - zahtjev za hrapavošću površine.

Pokazuje stupanj i vrstu (*R*, *W* ili *P*) hrapavosti površine, graničnu brojčanu vrijednost i duljinu vrednovanja ili duljinu uzorkovanja. Radi izbjegavanja pogrešnog tumačenja treba umetnuti između oznake i zahtijevane vrijednosti dvostruki razmak (slovno mjesto).

Općenito, u jednom nizu treba navesti referentnu duljinu vrednovanja ili duljinu uzorkovanja završenu kosom crtom (/), slijedi oznaka stupnja površinske hrapavosti i njezina brojčana veličina.

Primjer 1: 0,0025-0,8/Rz 6,8 (primjer s referentnom duljinom)

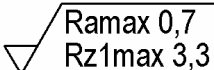
Primjer 2: -0,8/Rz 6,8 (primjer samo s duljinom uzorkovanja)

Prema ISO 1302 referentna duljina je duljina vala između dva definirana filtra (vidi također ISO 3274 i ISO 11562), a za pogonsku metodu, duljina vala između dvije određene granice (vidi ISO 12085).

Položaj a i b - dva ili više zahtjeva na hrapavost površine.

Ove se oznake većinom primjenjuju za granice područja zahtijevane hrapavosti ili dvije vrste oznaka hrapavosti. Prvi zahtjev na hrapavost površine stavlja se na uobičajenom položaju **a**. Drugi zahtjev na hrapavost površine tada se stavlja na položaj **b**. Ako postoji treći zahtjev ili više njih koje treba označiti,

grafički simbol pomiče se u vertikalnom smjeru, kako bi se napravio prostor za više redova.

a) u tekstu	b) na crtežu
MRR Ramax 0,7; Rz1max 3,3	

Slika 4.39. Navođenje parametra granica hrapavosti (maksimuma)

a) u tekstu	b) na crtežu
MRR U Ra 0,9; L Ra 0,3	

Slika 4.40. Dvostruka specifikacija parametra površine (gornja i donja granica)

Položaj c - postupak obrade.

Označava postupak obrade, tretiranje površine, vrstu prevlake ili druge zahtjeve na proces obrade i sl. za dobivanje površine (obrađena, pocinčana, galvanizirana).

Postupak obrade na površini može biti označen kao tekst dodan potpunom simbolu, kao što je prikazano na slikama 4.41. i 4.42. Prevlaka na slici 4.42., kao primjer, označena je uporabom simboličkog prikaza prema ISO 1456.

a) u tekstu	b) na crtežu
Tokareno Rz 3,1	

Slika 4.41. Označavanje postupka obrade i hrapavosti površine

a) u tekstu	b) na crtežu
NMR Fe/Ni 15 p Cr r; Rz 0,6	

Slika 4.42. Označavanje prevlake i hrapavosti površine

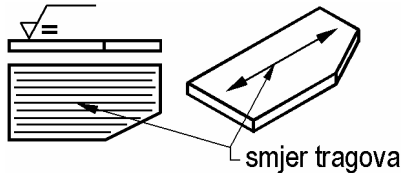
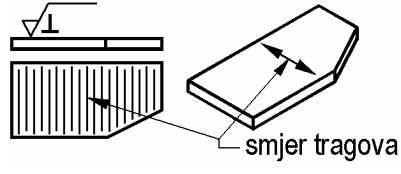
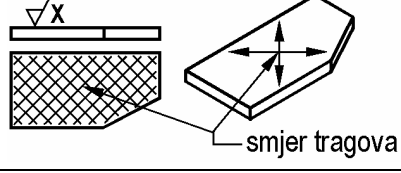
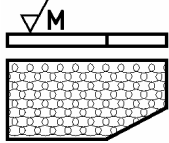

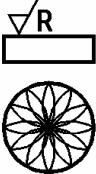
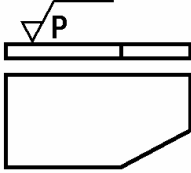
Položaj d - smjer obrade.

Na ovom se mjestu (slika 4.43.) stavlja simbol željenog prostiranja tragova, ako postoji, odnosno smjer prostiranja tragova npr. =, X, M, C, R ili P (vidi tablicu 4.60.).

Površinski tragovi i smjer prostiranja tragova nastalih postupkom obrade (npr. tragovi alata) mogu biti označeni u potpunom simbolu uporabom znakova navedenih u tablici 4.60., a prikazanim primjerom na slici 4.43. Označavanje površinskih tragova definiranih znakovima nije primjenjivo u tekstualnom prikazu.

Znakovi u tablici 4.60. prikazuju tragove obrade i smjer tragova u odnosu na ravninu crtanja.

Tablica 4.60. Simboli za tragove obrade na površinama

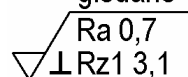
Grafički znak	Opis i primjer	
=	Paralelno na ravninu projekcije u kojoj je znak upotrijebljen	
⊥	Okomito na ravninu projekcije u kojoj je znak	
X	Križno u dva pravca na relativnu ravninu projekcije u kojoj je znak	
M	Višesmjerno	
C	Približno kružno prema središtu površine na kojoj je znak	
R	Približno radijalno prema središtu površine na kojoj je znak	
P	Tragovi su zasebni, neusmjereni ili nestršeći	

Ako je potrebno naznačiti uzorak koji nije jasno opisan ovim znakovima, to treba uraditi uporabom prikladne bilješke na crtežu.

a) u tekstu

NRR glodano Ra 0,7; Rz1 3,1

b) na crtežu

glodano


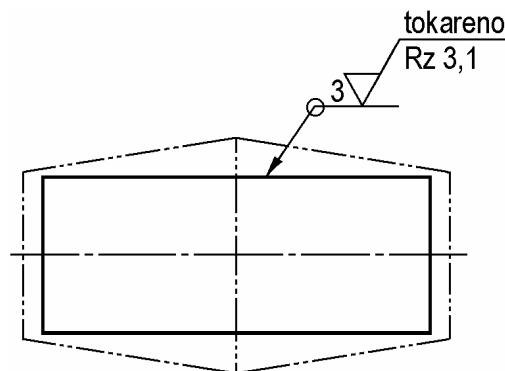
Slika 4.43. Smjer površinskih tragova označen okomito na ravninu crtanja

Položaj e – dodatak za obradu.

Označava zahtjev za dodatkom za strojnu obradu, ako postoji, a daje se kao brojčana vrijednost u milimetrima.

Dodatak za strojnu obradu u načelu se označava u slučajevima kada je više faza obrade prikazano na jednom crtežu. Dodatak za strojnu obradu potreban je npr. u crtežu sirovca i otkivka s konačnim izratkom prikazanim u sirovom komadu. Ova oznaka nije primjenjiva u tekstualnom prikazu.

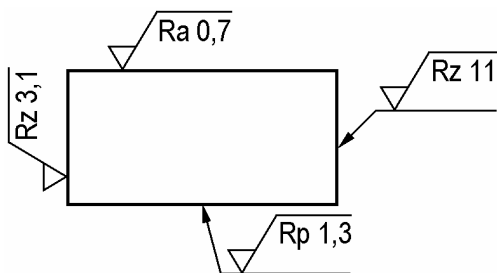
Kada je zadan dodatak za strojnu obradu, može se dogoditi da je on i jedini na potpunom simbolu. Češći je slučaj da se istodobno daje i podatak za hrapavost poslije konačne strojne obrade (sliku 4.44.).



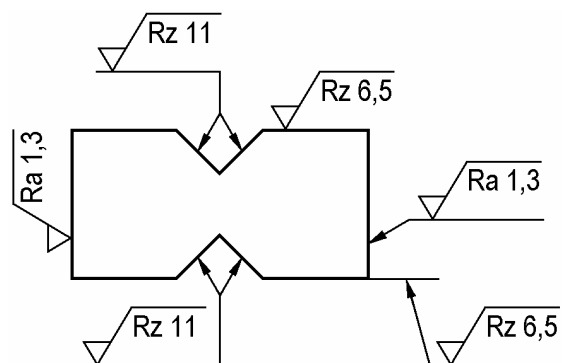
Slika 4.44. Primjer označavanja zahtjeva hrapavosti površine za konačni izradak a prikazan na crtežu sirovca (uključuje 3 mm dodatka za strojnu obradu)

4.11.4. Primjena oznaka hrapavosti na crtežima i drugoj tehničkoj dokumentaciji

Zahtjeve za stanjem površine treba postaviti samo jednom za određenu površinu, na jednoj projekciji, ako je moguće, na istu projekciju gdje su kotirane i tolerirane veličina ili položaj, i to što bliže njima da se što bolje uoče.



Slika 4.45. Smjer čitanja (grafičkih simbola) stanja površine

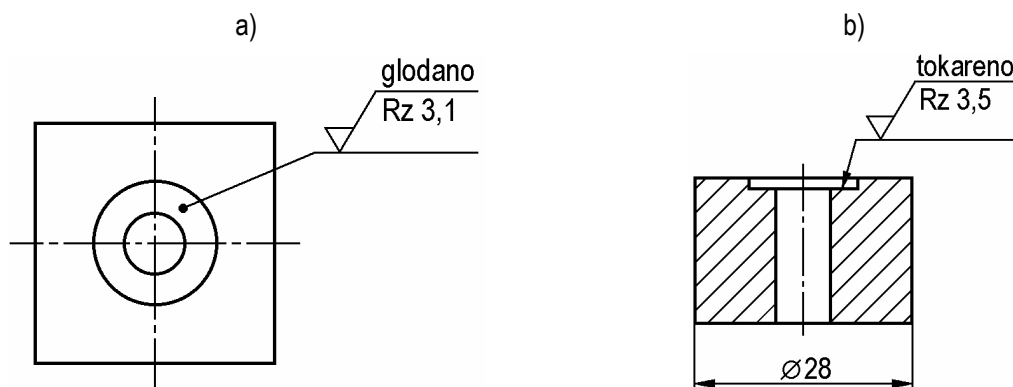


Slika 4.46. Zahtjevi za stanjem površine na konturi koja predstavlja površinu

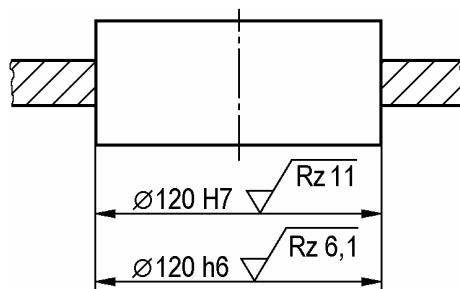
Opće je pravilo da grafički simbol, skupa s dopunskim informacijama, treba orijentirati tako da je čitak s donje i s desne strane crteža, kao i kod kotiranja, a sve prema ISO129-1 (slika 4.45.).

Zahtjev za stanjem površine (grafički simbol) može dirati površinu ili biti spojen na nju preko referentno/pokazne crte koja na površini završava strelicom ili nekim drugim znakom.

Kao opće pravilo, grafički simbol ili pokaznu crtu koja završava strelicom (ili nekim drugim odgovarajućim završetkom) treba pokazivati na površinu materijala izratka s vanjske strane, bilo da je to kontura (koja predstavlja površinu) ili njezin produžetak (vidi slike 4.46. i 4.47.).



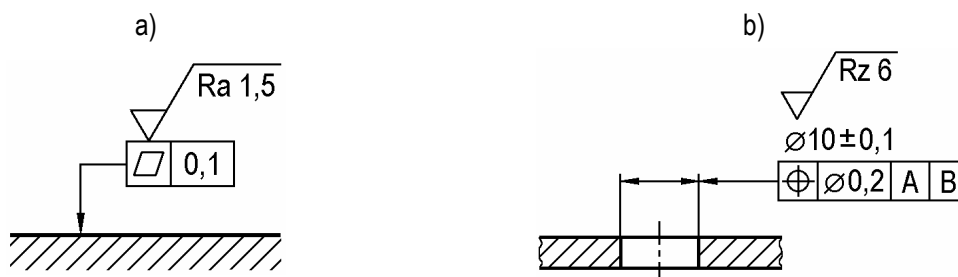
Slika 4.47. Alternativna uporaba pokazne crte



Slika 4.48. Zahtjev za stanjem površine uz kotni broj

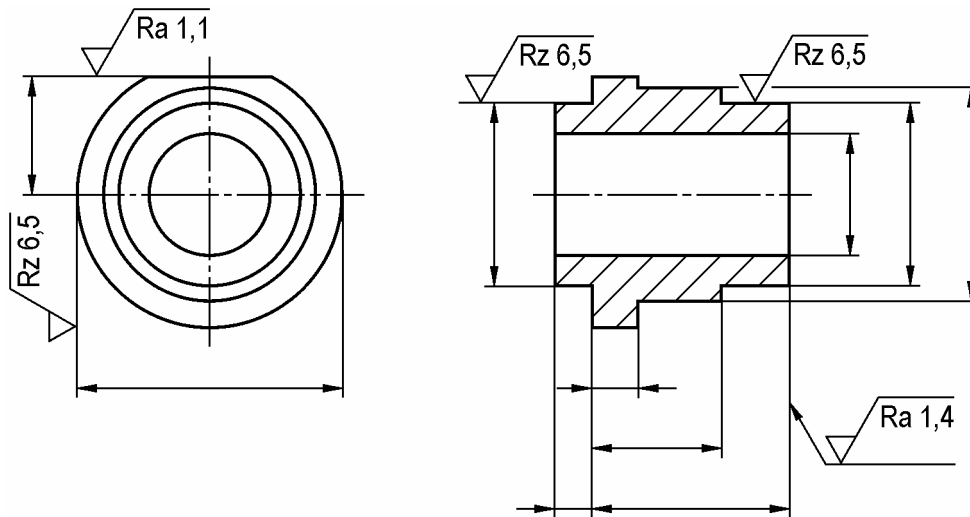
Ako ne postoji mogućnost zabune, zahtjev za stanjem površine može se postaviti zajedno s istaknutim mjerama, kao na slici 4.48.

Zahtjev za stanjem površine može se postaviti i na vrh tolerancijskog okvira za geometrijske tolerancije (prema ISO 1101), kao što je prikazano na slici 4.49.a, ili iznad same oznake, kao što je prikazano na slici 4.49.b.

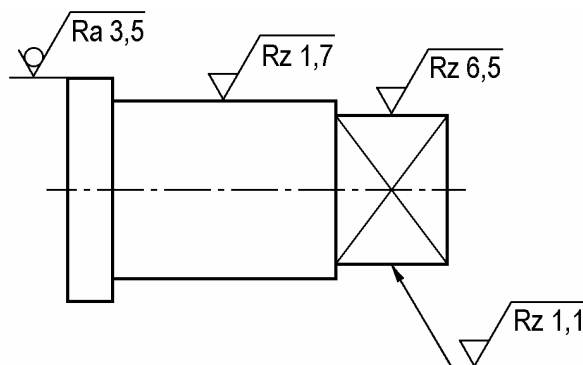


Slika 4.49. Zahtjev za stanjem površine vezan uz tolerancije položaja i oblika

Zahtjev za stanjem površine može se izravno postaviti i na pomoćne mjerne crte ili biti vezan na njih preko referentne ili pokazne crte sa strelicom kao završetkom (slika 4.50.).



Slika 4.50. Uporaba pomoćnih mjernih crta za isticanje zahtjeva hrapavosti cilindričnih tijela

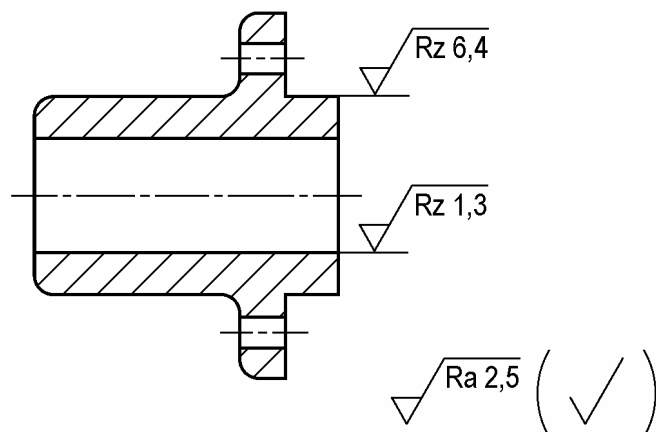


Slika 4.51. Zahtjev za stanjem površine za cilindrične i prizmatične površine

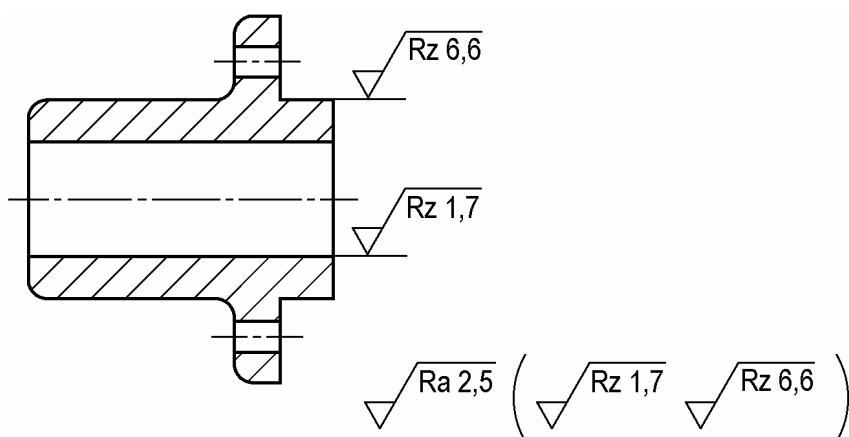
Cilindrične, konične i prizmatične površine definiraju se oznakom hrapavosti jednoznačno, tako da se znakom označi kontura ili izvodnica (vidi sliku 4.51.). U manjem broju slučajeva, kada se radi o prizmatičnim površinama, svaku površinu treba odvojeno označiti ako je zahtjev za stanjem površine različit za svaku od njih.

Ako je zahtijevano stanje površine isto na većini površina izratka, tada se to zahtijevano stanje površine pojednostavnjeno definira skupnim znakom koji se smješta obično u gornji desni kut radioničkog crteža. Pri tome se na prvom mjestu ističe znak obrade kojim je obrađena većina ploha, a koji nije istaknut na projekciji crteža, te u zagradu ostale obrade. Postoje dva osnovna načina ovakvog prikaza, kao što se vidi na slikama 4.52. i 4.53.

Zahtjevi za stanjem površine koji odstupaju od općenitog zahtjeva za stanjem površine trebaju biti postavljeni izravno na crtežu u istoj projekciji kao i specificirana površina o kojoj je riječ.



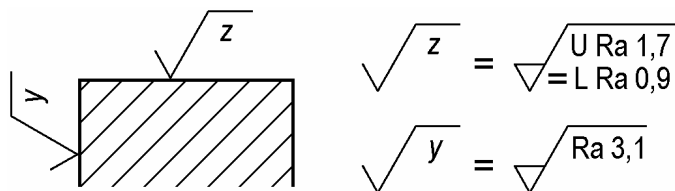
Slika 4.52. Pojednostavnjeni prikaz – većina površina s istim zahtijevanim stanjem površine



Slika 4.53. Pojednostavnjeni prikaz – većina površina s istim zahtijevanim stanjem površine

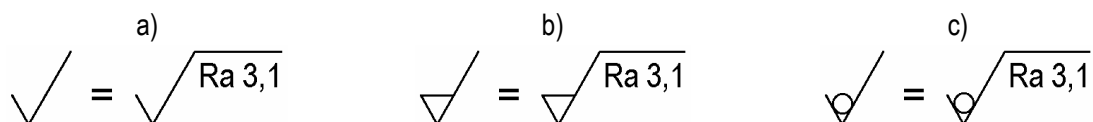
Da bi se izbjeglo brojno ponavljanje istih oznaka hrapavosti, ili tamo gdje je prostor ograničen, ili ako se traži isto stanje površine na većem broju površina izratka, može se primijeniti pojednostavnjeno označavanje, i to na sljedeći način:

Pojednostavnjena oznaka postavlja se na potrebnoj površini, a njezino značenje objašnjeno je pored same projekcije, sastavnice ili u prostoru predviđenom za opće napomene (vidi sliku 4.54.).

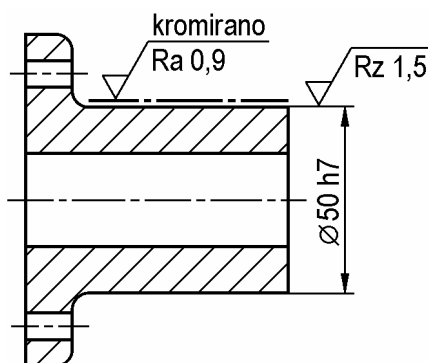


Slika 4.54. Oznaka hrapavosti u slučaju skućenog prostora za crtanje

Svi osnovni grafički simboli prikazani na slikama 4.33., 4.34. i 4.35. mogu se također koristiti za oznaku zahtijevanog stanja površine, a njihovo potpuno značenje daje se na crtežu kako je to prikazano na slici 4.54., uključujući i prethodno opisane slučajeve.



Slika 4.55. Pojednostavnjeni prikaz zahtjeva za stanjem površine (a – nedefinirani proizvodni proces, b – potrebno odvajanje materijala i c – nije dopušteno odvajanje materijala)



Slika 4.56. Postavljanje zahtjeva za stanjem površine, prije i poslije obrade (ovdje presvlaka)

Ako je u pitanju više proizvodnih postupaka, potrebno je definirati stanje površine prije i poslije pojedinog postupka obrade, što treba objasniti u napomeni, kao što prikazuje slika 4.56.

4.11.5. Odnos između tolerancije i hrapavosti

Postizanje određene tolerancije povezano je s hrapavošću tehničkih površina koje se toleriraju. Odnos između stupnja tolerancije IT i parametra hrapavosti Rz u ovisnosti o izmjerama izratka dan je u tablici 4.61.

Tablica 4.61. Odnos između stupnja tolerancije (IT) i parametra hrapavosti Ra u ovisnosti o izmjerama izratka

Stupanj tolerancije	Izmjere izratka, mm				
	... 3	3) ... 18	18) ... 80	80) ... 250	250) ...
IT5	0,1	0,2	0,4	0,4	0,8
IT6	0,2	0,4	0,4	0,8	0,8
IT7	0,4	0,4	0,8	1,6	1,6
IT8	0,4	0,8	1,6	1,6	3,2
IT9	0,8	0,8	1,6	3,2	6,3
IT10	1,6	1,6	3,2	6,3	6,3
IT11	1,6	3,2	6,3	6,3	12,5
IT12	3,2	3,2	6,3	12,5	12,5
IT13	6,3	6,3	12,5	12,5	12,5
IT14	12,5	12,5	12,5	12,5	25

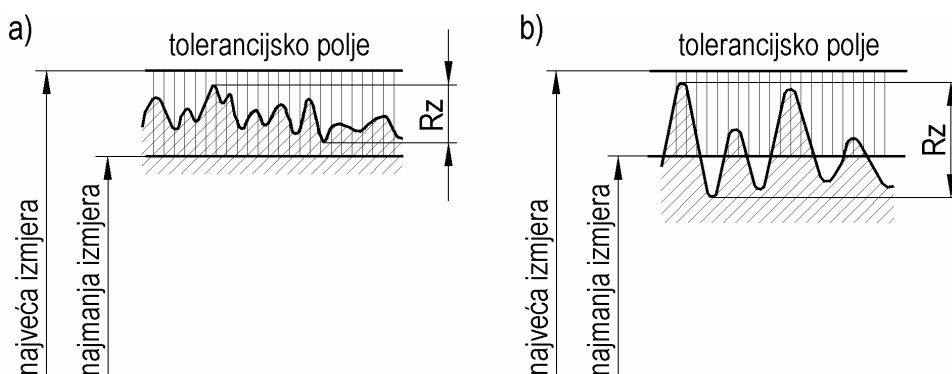
U tablici 4.62. dana je veza između kvaliteta tolerancija duljinskih izmjera i odgovarajućih najgrubljih površinskih obrada. Navedene hrapavosti mogu se koristiti uvijek kada drugi uvjeti ne zahtijevaju finiju kvalitetu obrade. Ako

funkcija površine elementa ne zahtijeva manju hrapavost od one navedene u tablici 4.62., može se općenito i grubo uzeti da je potrebno ispuniti uvjet da je $Rz \leq 0,5 \cdot T$. Na taj se način postiže to da nakon spajanja dosjednih dijelova i djelomične plastične deformacije neravnina hrapavosti stvarne izmjere bude unutar tolerancijskog polja.

Tablica 4.62. Uobičajena područja primjene veličina hrapavosti

Srednje aritmetičko odstupanje profila Ra , μm	Primjena
0,025	Kontrolna mjerila, najstrožiji zahtjevi
0,05	
0,1	
0,2	Brtvene i vrlo precizne klizne površine
0,4	
0,8	
1,6	Klizne površine i prisni dosjedi
3,2	
6,3	
12,5	Prisni dosjedi
25	
50	Nefunkcijske površine

Između tolerancijskog polja, duljinske izmjere i veličine hrapavosti treba postojati usklađenost. Na slici 4.57. prikazan je povoljan (slika 4.57.a) i nepovoljan (slika 4.57.b) odnos između visine tolerancijskog polja i neravnina. Prema literaturnim podacima hrapavost može biti manja ili u nekim slučajevima najviše jednaka kvaliteti tolerancije duljinske izmjere.



Slika 4.57. Tolerancije i hrapavosti površina
(a - povoljan i b - nepovoljan odnos hrapavosti i tolerancijskog polja)

U tablici 4.63. dan je pregled najčešćih postupaka ručne i strojne obrade s podacima o veličini hrapavosti koja se uobičajeno može s njima postići.

Tablica 4.63. Orijentacijske vrijednosti parametra R_a površinske hrapavosti koji se mogu postići s određenom vrstom ručne i strojne obrade

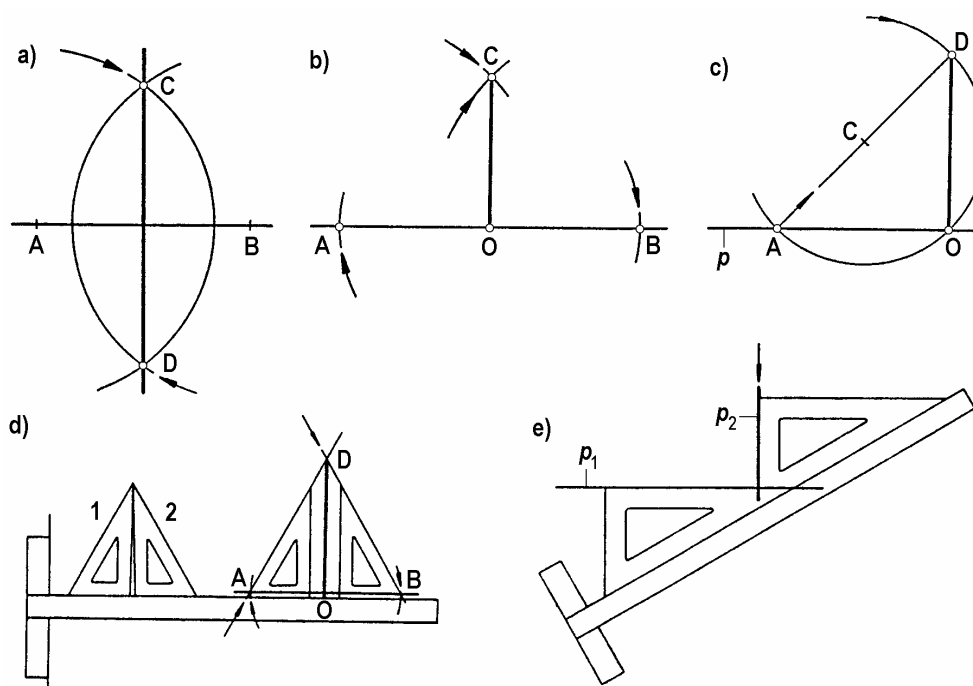
Postupak obrade	Stupanj površinske hrapavosti R_a , μm															
	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100	200	400	800
Ručna obrada																
- grubo turpijanje																
- fino turpijanje																
Lijevanje																
- u pijesak																
- u kokilu																
- tlačno lijevanje																
Kovanje																
- toplo, slobodno																
- toplo u ukovnju																
- hladno u ukovnju																
Valjanje																
- toplo																
- hladno																
Pjeskarenje																
Sačmarenje																
Plinsko rezanje																
Tokarenje																
- grubo																
- fino																
Blanjanje																
- grubo																
- fino																
Glodanje																
- grubo																
- fino																
Bušenje svrdlom																
Razvrtavanje																
Brušenje																
- grubo																
- fino																
Poliranje																
- mehaničko																
- električno																
Honanje, lepanje																
Superfiniš																
Obrada navoja																
- rezanje																
- brušenje, valjanje																
Obrada zubaca																
- blanjanje																
- glodanje																
- brušenje																

5. Crtanje geometrijskih i strojarskih kontura

Drawing of Geometrical and Mechanical Contours

Oblikovanje elemenata strojeva svodi se na komponiranje što jednostavnijih geometrijskih kontura u skladnu cjelinu, koja mora zadovoljiti osnovne zahtjeve postavljene zadatkom da utrošak materijala i potrebnog rada za izradu bude što manji. Pozitivna je posljedica ovakvog pristupa utjecaj na smanjenje cijene koštanja strojnog dijela. Većina alatnih strojeva konstruirana je za obradu cilindričnih, koničnih, rotacijskih i ravnih ploha (izuzev CNC strojeva), pa je i obrada ovakvih ploha jeftinija od obrade drugih, za koje su potrebni specijalni alatni strojevi i kod kojih je obrada isplativa jedino kod masovne proizvodnje. Iz tih razloga elementi strojeva, kao što je već rečeno, po obliku predstavljaju sintezu jednostavnih geometrijskih tijela. Konstruiranje strojnih dijelova u pravokutnom ili ortogonalnom izgledu, prikazivanjem prostornih oblika dijelova u ravnini, svodi se na dobivanje takozvanih *strojarskih kontura* [5, 6, 7, 10, 22, 23].

5.1. Crtanje okomice na zadani pravac



Slika 5.1. Načini crtanja okomice na zadani pravac

Prvi način. Iz proizvoljno odabranih točaka A i B na zadanom pravcu šestarom opisati proizvoljne kružne lukove s polumjerom \overline{AC} i \overline{BD} ($\overline{AC} = \overline{BD} < \overline{AB}$). Spajanjem presječnih točaka kružnih lukova C i D trokutom dobiva se središnjica duljine \overline{AB} , koja je istodobno i okomica na zadani pravac (slika 5.1.a).

Drugi način. Iz proizvoljno odabrane točke O na zadanom pravcu šestarom opisati kružni luk proizvoljnog polumjera. Kružni će luk u presjeku sa zadanim

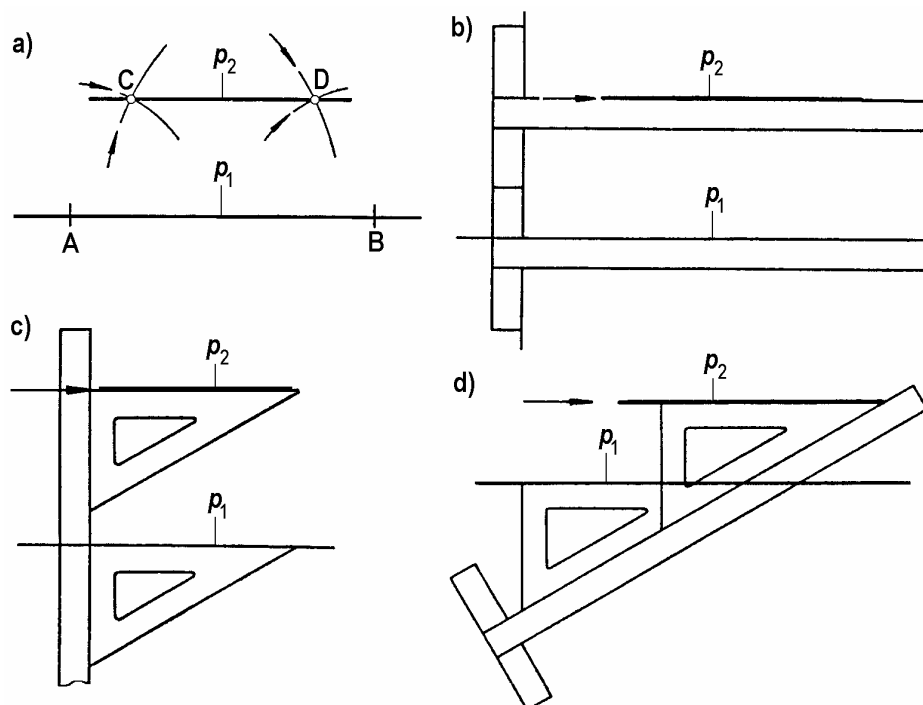
pravcem odrediti točke A i B. Opisivanjem šestarom kružnih lukova iz A i B ($\overline{AC} = \overline{BC} > \overline{OA} = \overline{OB}$) i njihovim presijecanjem dobiva se točka C. Spajanjem točke C i O dobiva se okomica na zadani pravac (slika 5.1.b).

Treći način. Iz proizvoljno odabrane točke C šestarom opisati proizvoljan luk komu je pravac p tetiva. Luk presijeca zadani pravac u točkama A i O. Povlačenjem pravca iz točke A kroz točku C u presjeku s lukom dobiva se točka D. Spajanjem točke D i O dobiva se okomica na zadani pravac (5.1.c).

Četvrti način. Iz proizvoljno odabrane točke O, istim postupkom kao u drugom načinu, opisivanjem lukova odrediti točke A i B na zadanom pravcu. Zanimajući mogućnost izostanka okomitosti rabljenog trokuta, povući pravce iz A i B pomoću hipotenuze trokuta. Presjek ovih pravaca odredit će točku D, a spajanjem točke D i O dobiva se okomica na zadani pravac (slika 5.1.d). Okomitost pravokutnog trokuta kontrolira se povlačenjem okomice pomoću dulje katete istim trokutom za položaj 1 i 2, kao što je to prikazano na slici 5.1.d.

Peti način. Uporabom trokuta i T – ravnala, ili običnog ravnala kao vodilice povlače se pravci p_1 i p_2 pomoću suprotnih kateta trokuta uz oslanjanje hipotenuze trokuta na ravnalo. Ako se pravac p_1 tretira zadanim pravcem, tada je p_2 okomica na zadani pravac (slika 5.1.e).

5.2. Crtanje pravca paralelnog sa zadanim pravcem



Slika 5.2. Načini crtanja pravca paralelnog sa zadanim pravcem

Prvi način. Iz proizvoljno odabranih točaka A i B na zadanom pravcu p_1 opisati kružne lukove istih polumjera ($\overline{AD} = \overline{BC}$). Postupak ponoviti s kružnim

lukovima manjeg polumjera ($\overline{AC} = \overline{BD} < \overline{AD} = \overline{BC}$). Presjeci kružnih lukova određuju točke C i D, a pravac povučen kroz ove točke predstavlja pravac p_2 paralelan sa zadanim pravcem p_1 (slika 5.2.a).

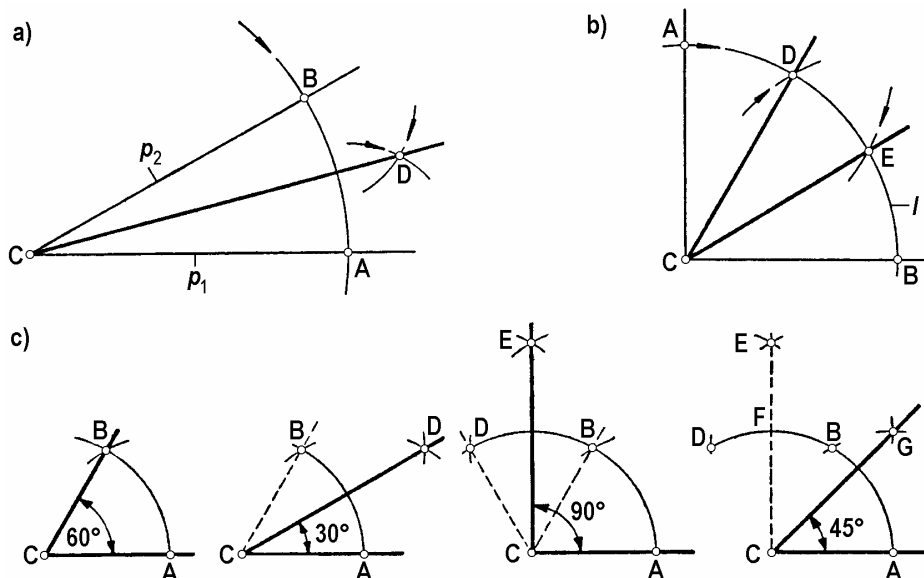
Drugi način. Pomicanjem T - ravnala po rubu ploče za crtanje, na proizvoljnu udaljenost od zadanog pravca p_1 , te povlačenjem pravca p_2 dobiva se pravac paralelan sa zadanim (slika 5.2.b).

Treći način. Pomicanjem pravokutnog trokuta po ravnanu kao vodicu, na proizvoljnu udaljenost od zadanog pravca p_1 , te povlačenjem pravca p_2 dobiva se pravac paralelan sa zadanim (slika 5.2.c).

Četvrti način. Pomicanjem pravokutnog trokuta priljubljenog hipotenuzom po ravnanu kao vodicu, na proizvoljnoj udaljenosti od zadanog pravca p_1 , te povlačenjem pravca p_2 dobiva se pravac paralelan sa zadanim (slika 5.2.d).

5.3. Podjela i konstruiranje kutova

Podjela proizvoljnog kuta na dva jednaka dijela. Proizvoljni kut definiran s dva pravca (p_1 i p_2) koji izlaze iz zajedničkog ishodišta C dijeli se na dva dijela, tako da se opisivanjem kružnog luka proizvoljnog polumjera odrede točke A i B na mjestu presjeka pravaca p_1 i p_2 s opisanim lukom. Zatim se iz točke A opisuje luk polumjera \overline{AD} , odnosno iz točke B luk polumjera \overline{BD} ($\overline{AD} = \overline{BD}$). Presjekom tih lukova određuje se točka D, a povlačenjem pravca iz ishodišta C kroz točku D kut je podijeljen na dva jednaka dijela (slika 5.3.a).



Slika 5.3. Podjela i konstruiranje kutova

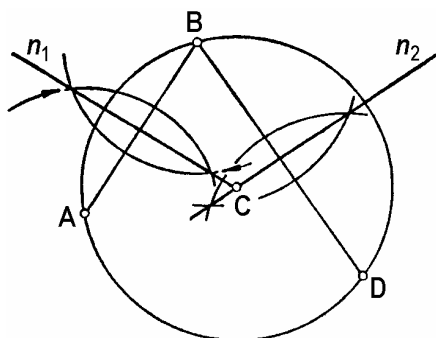
Podjela pravog kuta na tri jednaka dijela. Pravi kut dijeli se na tri jednaka dijela na taj način da se prvo iz točke C opise proizvoljni kružni luk l do presjeka s

pravcima koji tvore pravi kut. Presjekom su definirane točke A i B, iz kojih se opisivanjem kružnog luka (jednako kao u slučaju određivanja točke A i B) i presjekom istog s lukom l dobiva točka D i E. Povlačenjem pravaca iz ishodišta C kroz točke D i E pravi je kut podijeljen na tri jednaka dijela (slika 5.3.b).

Konstruiranje kutova. Kut od 60° konstruira se na taj način da se odredi presjek kružnih lukova polumjera \overline{CA} i \overline{AB} ($\overline{CA} = \overline{CB} = \overline{AB}$). Dijeljenjem tog kuta na dva jednaka dijela (kao što je to opisano u prvom odlomku ove točke) dobiva se kut od 30° . Kut od 90° (pravi kut) konstruira se tako da se konstrukcija kuta od 60° ponovi dvaput, a zatim dijeljenjem kuta određenog pravcima, koji su povučeni iz ishodišta C kroz točke B i D, odredi točka E. Kut od 45° konstruira se dijeljenjem pravog kuta na dva jednaka dijela (slika 5.3.c).

5.4. Crtanje kružnice ako su poznate tri nekolinearne točke

Crtanje kružnice ako su poznate tri nekolinearne točke A, B i D svodi se na određivanje središta kružnice C (slika 5.4.). Spajanjem točaka A s B i B s D dobivaju se duljine \overline{AB} i \overline{BD} (tetine kružnice). Konstruiranjem okomica na dobivene tetive (na način opisan u točki 5.1.) te njihovim produljenjem dobiva se u presjeku točka C, koja je središte iz kojeg treba opisati kružnicu polumjera \overline{CA} koja prolazi kroz zadane točke (jer je $\overline{CA} = \overline{CB} = \overline{CD}$).

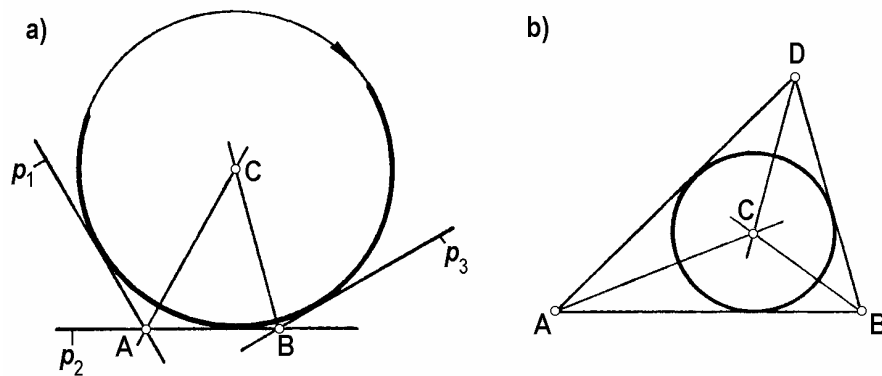


Slika 5.4. Crtanje kružnice ako su poznate nekolinearne točke

5.5. Crtanje upisane kružnice

Zadani su pravci p_1 , p_2 i p_3 koji se sijeku u točki A i B (slika 5.5.a). Dijeljenjem kuta $p_1 A p_2$ i kuta $p_2 B p_3$ na jednake dijelove, u presjeku diobenih pravaca dobiva se točka C koja predstavlja središte upisane kružnice (pravci p_1 , p_2 i p_3 su istodobno i tangente na kružnicu).

Konstruiranje kružnice upisane u trokut ABD (slika 5.5.b) svodi se na definiranje središta kružnice C, koje se dobije u presjeku središnjica kutova zadanog trokuta. Središnjice kutova određuju se na način opisan u točki 5.3. Upisana kružnica tangira sve tri stranice trokuta ABD.

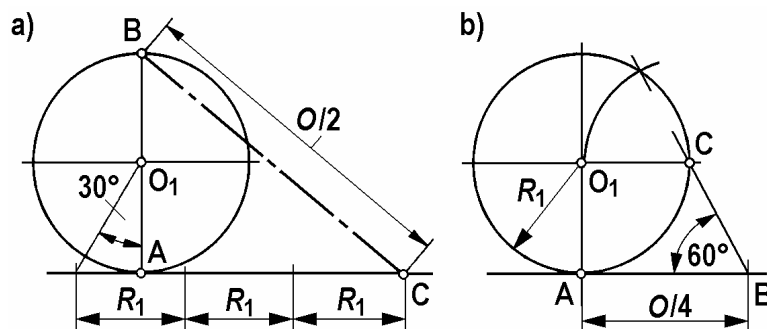


Slika 5.5. Crtanje upisane kružnice

5.6. Uravnjivanje (rektifikacija) kružnice

Uravnjivanje ili rektifikacija kružnice je konstrukcija duljine, čija je duljina jednaka opsegu kružnice $O = 2R_1 \cdot \pi$. Ovaj se postupak ne može izvesti isključivo uporabom ravnala i šestara, jer je broj $\pi = 3,14 \dots$ transcendentan broj¹, već se radi o približnoj konstrukciji. Najtočnija približna konstrukcija prema A. Kohanskom jest rektifikacija kružnice, dana na slici 5.6.a [23]. Ovom konstrukcijom dobivena duljina duljine \overline{BC} podudara se s vrijednošću polovine opsega kružnice u četiri decimale.

Manje točna rektifikacija kružnice prikazana je na slici 5.6.b. Duljina \overline{AB} približno je jednaka četvrtini opsega kružnice s točnošću na dvije decimale [23]. Pri razmatanju plašta valjka češće se koristi ova rektifikacija kružnice jer je jednostavnija i dovoljno točna za ovu svrhu.

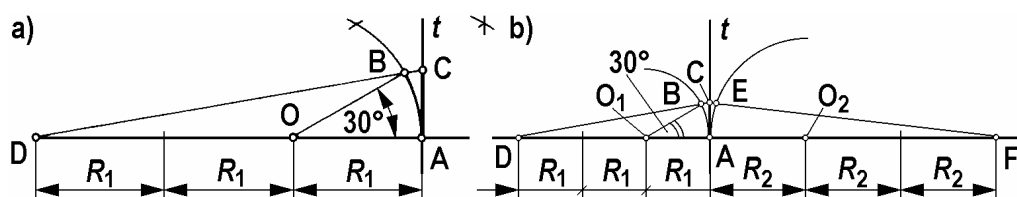


Slika 5.6. Rektifikacija polovine opsega kružnice (a) i rektifikacija četvrtine opsega kružnice (b)

Za prenošenje opsega kružnice na luk kružnog isječka koriste se približne konstrukcije prikazane na slici 5.7. [24]. Na slici 5.7.a prikazana je rektifikacija kružnog luka AB, čiji je pripadni središnji kut $\alpha = 30^\circ$. Ova se približna konstrukcija upotrebljava isključivo u slučajevima kada je $\alpha \leq 30^\circ$. U točki A luka AB postavi se tangenta t na kružnicu. Odredi se točka D na pravcu \overline{AO} , tako da je

¹ broj koji se nalazi izvan prirodnih granica, odnosno nije algebarski

$\overline{DA} = 3R_1$. Iz točke D projicira se točka B na tangentu t i dobije se točka C. Duljina duljine \overline{AC} približno je jednaka duljini luka AB.



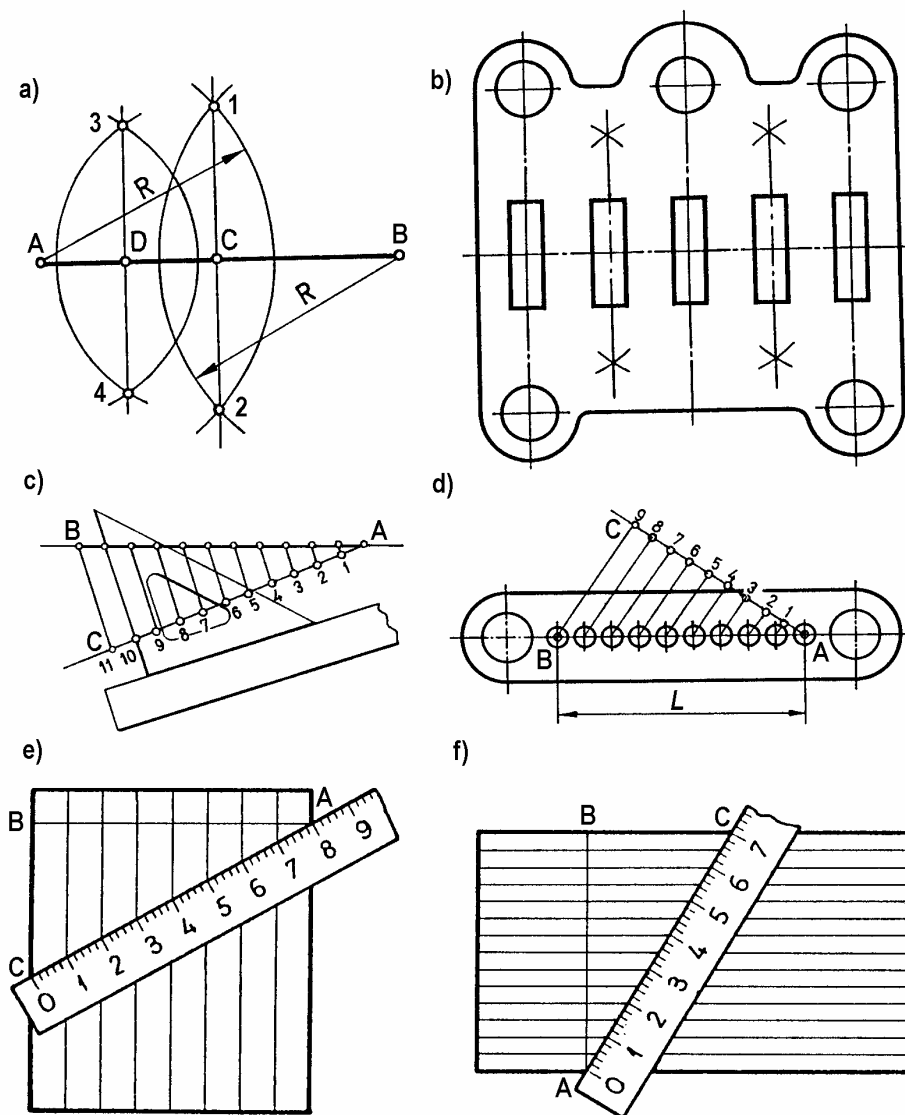
Slika 5.7. Rektifikacija kružnog luka (a) i prenošenje kružnog luka s jedne na drugu kružnicu (b)

Na slici 5.7.a prikazano je prenošenje kružnog luka AB polumjera R_1 i pripadnog središnjeg kuta $\alpha = 30^\circ$ na kružnicu polumjera R_2 . Rektifikacijom ovog luka dobije se duljina \overline{AC} na tangenti t . Kružnica polumjera R_2 dodiruje tangentu t u točki A. Duljina \overline{AC} prenese se istim postupkom na drugu kružnicu. Dobiveni luk AD ima duljinu približno jednaku jednoj dvanaestini opsega kružnice polumjera R_1 (primjena npr. pri razmatanju plašta rotacijskog stošca).

5.7. Podjela zadane duljine na jednake dijelove

Iz krajnjih točaka zadane duljine (\overline{AB}) A i B šestarom se opišu dva kružna luka polumjera R , nešto većeg od polovice zadane duljine \overline{AB} , do obostranog presjeka u točkama 1 i 2 (slika 5.8.a). Pravac koji se dobije spajanjem točke 1 i 2 presijeca zadanu duljinu \overline{AB} u točki C i dijeli je na dva jednaka dijela. Ponovi li se opisani postupak za odrezak duljine \overline{AC} , dobije se njegova sredina – točka D, odnosno ponovi li se i za odrezak duljine \overline{CB} , duljina \overline{AB} bit će podijeljena na četiri jednaka dijela.

Primjer podjele zadane duljine na četiri jednaka dijela prikazan je na slici 5.8.b (limena ploča u kojoj treba prosjeći pet pravokutnih otvora). Ako je na primjer potrebno odrezak \overline{AC} podijeliti na 11 jednakih dijelova (slika 5.8.c), tada se iz bilo kojeg kraja odreska, na primjer iz točke B, povlači pravac pod proizvoljnim ostrim kutom. Od točke A šestarom odmjere 11 proizvoljnih (ali međusobno jednakih) odrezaka. Krajnju točku (C) pomoćne duljine \overline{AC} spojiti s točkom B. Zatim pomoću trokuta i ravnala povlačiti niz pravaca paralelnih duljini \overline{BC} (odnosno $\overline{11B}$), koji dijele odrezak \overline{AB} na 11 jednakih dijelova. Na slici 5.8.d prikazan je strojni dio na kojemu treba provrtati 10 provrta ravnomjerno raspoređenih na duljini L . U ovom se slučaju također primjenjuje opisani postupak dijeljenja zadane duljine na određeni broj jednakih dijelova. Slike 5.8.e i 5.8.f prikazuju postupak dijeljenja zadane duljine \overline{AB} na određeni broj jednakih dijelova uporabom mjerne skale (trokuta, ravnala, razmjernika ili slično).



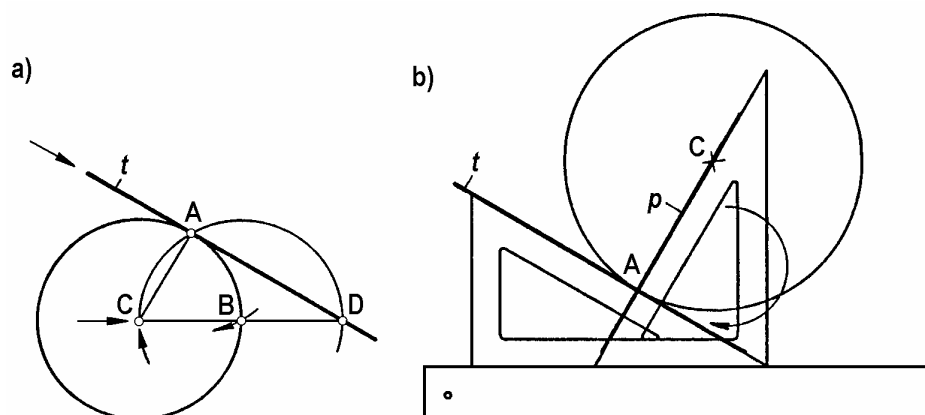
Slika 5.8. Primjeri podjela zadane duljine na jednake dijelove

5.8. Crtanje tangenata na kružnicu

Da bi se konstruirala tangenta t koja će u proizvoljno odabranoj točki A dodirivati kružnicu sa središtem C (vidi sliku 5.9.a), treba iz točke A šestarom opisati kružni luk polumjera jednakog polumjeru zadane kružnice, do presjeka s njom u točki B . Iz točke B zatim opisati dio kružnice koja prolazi kroz točke A i C , kao i kroz točku D na produžetku spojnice \overline{CB} . Povlačenjem pravca koji prolazi kroz točke D i A dobiva se tangenta t na zadanu kružnicu. Duljina \overline{AB} predstavlja okomicu na tangentu u točki A .

Opisana konstrukcija tangente t na zadanu kružnicu u točki A može se izvesti pomoću ravnala i pravokutnog trokuta (vidi sliku 5.9.b). Hipotenuzom trokuta, koji je oslonjen na ravnalo kao vodilicu, ucrtava se pravac p koji prolazi kroz središte zadane kružnice C i kroz točku A . Zatim se trokut zaokrene za 90° i ucrtava pravac

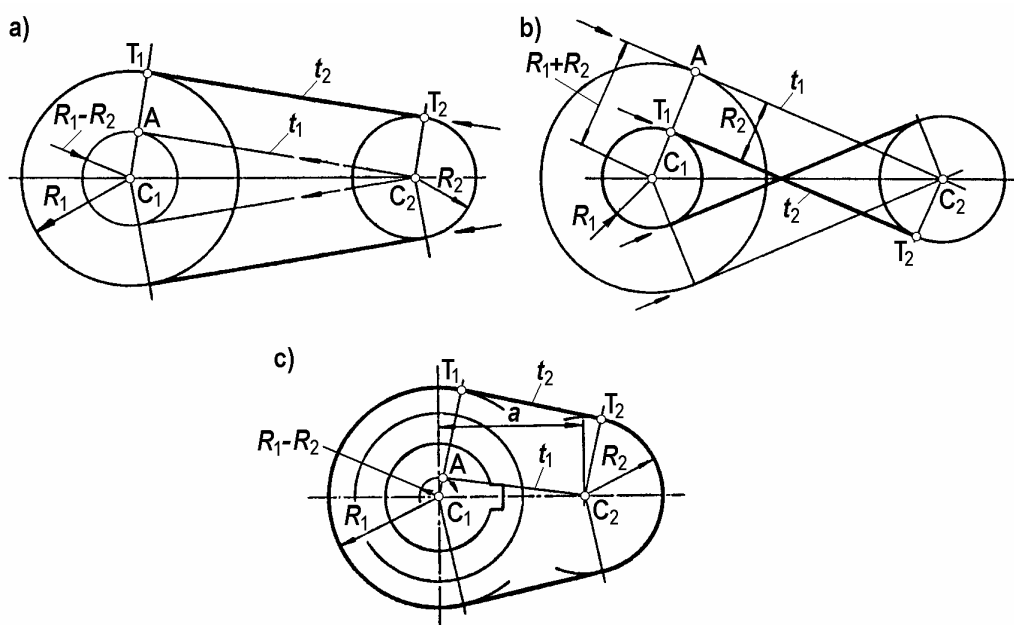
koji predstavlja tangentu t u točki A zadane kružnice.



Slika 5.9. Crtanje tangente na kružnicu

5.9. Crtanje zajedničkih tangenata na dvije kružnice

Crtanje zajedničkih tangenata na dvije zadane kružnice sa središtima C_1 i C_2 i polumjerima R_1 i R_2 izvodi se tako da se oko središta C_1 opiše kružnica polumjera $R_1 - R_2$ (slika 5.10.a). Nakon toga se iz točke C_2 povuče tangenta t_1 na tu kružnicu. Tražena tangenta t_2 koja dodiruje zadane kružnice u točkama T_1 i T_2 predstavlja paralelan pravac tangenti t_1 . Simetrično izvedeno konstruiranje koristi se pri konstruiranju remenskog prijenosa, koji se često susreće u strojarstvu.



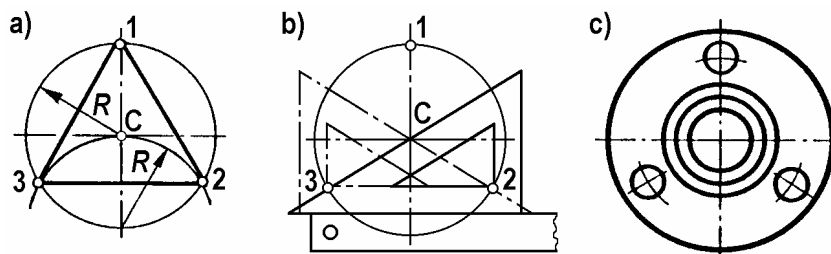
Slika 5.10. Primjeri konstruiranja zajedničke tangenata na dvije kružnice

Identičan postupak gore opisanom upotrebljava se pri konstruiranju brijega (slika 5.10.c) čija se kontura sastoji od dijelova kružnica i pravaca. Ovo rješenje

najčešće se koristi pri konstruiranju bregova bregastih osovin motora s unutarnjim izgaranjem.

U slučaju da su zadane dvije kružnice sa središtima C_1 i C_2 polumjera R_1 i R_2 , za koje treba konstruirati zajedničke tangente koje se međusobno sijeku (slika 5.10.b), postupak konstruiranja svodi se na opisivanje kružnice polumjera $R_1 + R_2$ oko središta C_2 te na povlačenje tangente t_1 na ovu kružnicu iz središta C_1 . Ova tangenta dodiruje kružnicu polumjera $R_1 + R_2$ u točki A. Tražena tangenta t_1 , koja dodiruje zadane kružnice u točkama T_1 i T_2 , paralelna je prethodno konstruiranoj tangenti t_1 . Ovaj slučaj konstruiranja tangente primjenjuje se pri konstruiranju remenskog prijenosa s remenom koji se križa.

5.10. Crtanje jednakokračnog trokuta



Slika 5.11. Crtanje istokračnog trokuta, odnosno podjela kružnice na tri jednaka dijela

Crtanje jednakokračnog trokuta moguće je pomoću kružnice i njezine podjele na tri jednaka dijela (slike 5.11.a i 5.11.b). Podjela zadane kružnice polumjera R na tri jednaka dijela svodi se na definiranje točaka 2 i 3 pomoću šestara (slika 5.11.a) ili pomoću pravokutnog raznostraničnog trokuta ($30^\circ-60^\circ-90^\circ$) (slika 5.11.b). Presjekom uspravne središnjice kružnice određena je točka 1. Omjer stranice trokuta a i polumjera opisane kružnice R iznosi:

$$\frac{a}{R} = 1,7321 \text{ (vidjeti tablicu 5.1.)}.$$

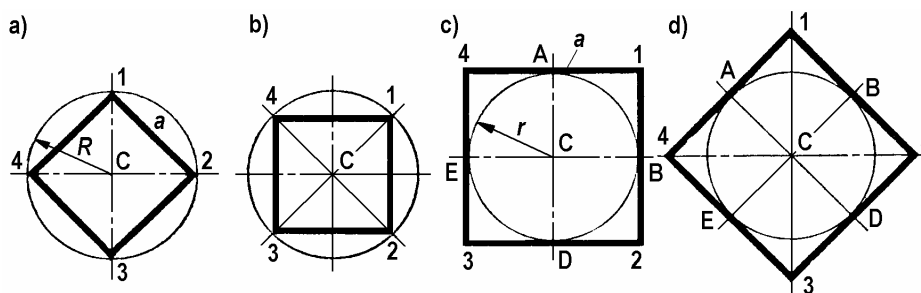
Spajanjem točaka 1, 2 i 3 dobiva se jednakokračni trokut. Na slici 5.11.c prikazana je, na primjeru jedne prirubnice s tri provrta, primjena podjele kružnice na tri jednaka dijela.

5.11. Crtanje kvadrata

Pravilno crtanje kvadrata može se izvesti pomoću zadane kružnice koja se može opisati oko kvadrata (slike 5.12.a i 5.12.b) ili upisana u kvadrat (slike 5.12.c i 5.12.d). Omjer stranice kvadrata a i polumjera upisane kružnice r , odnosno omjer stranice kvadrata a i polumjera opisane kružnice R dan je u tablici 5.1.

Na slici 5.12.a prikazana je konstrukcija kvadrata dobivenog spajanjem točaka

1, 2, 3 i 4 koje su dobivene presjekom središnjica zadane kružnice opisane iz središta C . Ako se pravokutni jednakokrani trokut ($45^\circ-45^\circ-90^\circ$) osloni hipotenuzom na T - ravnalo ili obično ravnalo, a zatim se povuku dva međusobno okomita pravca kroz središte C zadane kružnice, dobit će se u presjeku tih pravaca i zadane kružnice točke 1, 2, 3 i 4. Spajanjem ovih točaka dobiva se traženi kvadrat (slika 5.12.b).



Slika 5.12. Crtanje kvadrata

Na slici 5.12.c prikazana je konstrukcija kvadrata dobivenog povlačenjem paralelnih pravaca s unaprijed određenim središnjicama kružnice. Paralelni pravci povlače se kroz točke A , B , D i E , a njihov međusobni presjek definirat će točke 1, 2, 3 i 4, odnosno traženi kvadrat. Na sličan način kao u slučaju slike 5.12.b na zadanoj kružnici definiraju se točke A , B , D i E (slika 5.12.d). Povlačenjem paralelnih pravaca s pravcima koji prolaze kroz točke E i B , odnosno kroz točke A i D (uz uvjet da diraju kružnicu u točkama A i D , odnosno u točkama B i E), te njihovim presjekom dobit će se točke 1, 2, 3 i 4, odnosno traženi kvadrat.

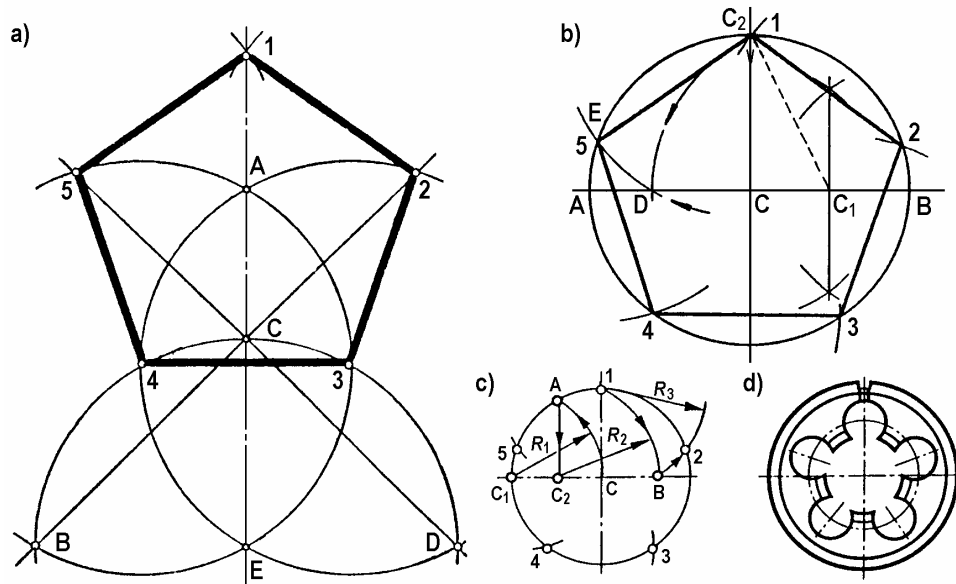
5.12. Crtanje pravilnih mnogokuta

5.12.1. Crtanje pravilnog peterokuta

Ako je zadana stranica a traženog peterokuta $\overline{34}$ (slika 5.13.a), iz točke 3 i 4 opišu se kružni lukovi polumjera $R = a = \overline{34}$ do međusobnog presjeka u točkama A i E . Kroz točke A i E povuči pravac, a zatim iz točke E opisati kružni luk polumjera $R = a = \overline{34}$ do presjekom definiranih točaka B , C i D . Povlačenjem pravaca kroz točke B i C , odnosno kroz točke D i C , i produljenjem prije opisanih kružnih lukova iz točaka 3 i 4 dobivaju se točke 2 i 5 traženog peterokuta. Zadnja točka peterokuta – točka 1, dobit će se opisivanjem kružnog luka polumjera $R = a = \overline{34}$ iz točke 2 (odnosno iz točke 5).

Crtanje pravilnog peterokuta moguće je i na način da se vodoravni polumjer kružnice \overline{BC} podijeli na dva jednaka dijela (slika 5.13.b), a zatim se iz točke C_1 kroz točku C_2 (koja leži na uspravnom promjeru) opiše kružni luk do presjeka s promjerom kružnice \overline{AB} . Na taj se način dobije točka D . Iz točke C_2 zatim se opiše kružni luk kroz točku D , do presjeka s kružnicom. Presječna točka E istodobno je i

točka 5 budućeg peterokuta. Duljina $\overline{C_2E} = \overline{15}$ odgovara stranici budućeg peterokuta. Otvorom šestara $\overline{C_2E}$, polazeći iz točke E (5) kao središta, određuju se preostale tri točke (tjemena) pravilnog peterokuta (točke 4, 3 i 2).



Slika 5.13. Crtanje pravilnog peterokuta, odnosno podjele kružnice na pet jednakih dijelova

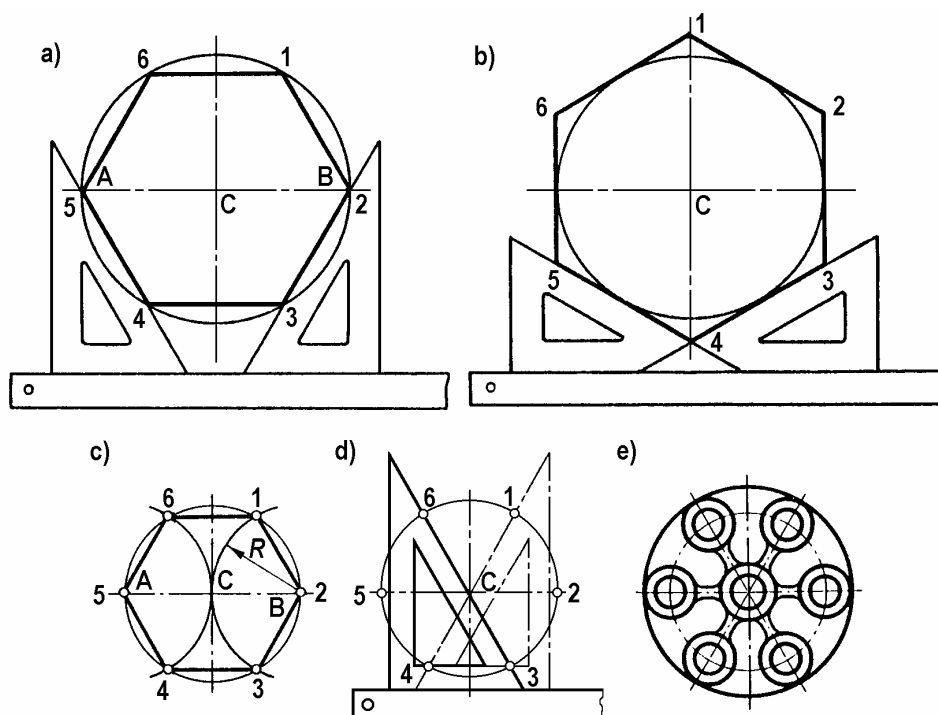
Konstruiranje pravilnog peterokuta može se izvesti i pomoću podjele zadane kružnice na 5 jednakih dijelova. Iz točke C_1 (slika 5.13.c.) šestarom opisati kružni luk polumjera R_1 (jednakog polumjeru zadane kružnice) do presjeka sa zadanom kružnicom u točki A. Spuštanjem okomice iz točke A do vodoravne središnjice kružnice dobiva se točka C_2 . Opisivanjem kružnog luka polumjera $R_2 = \overline{C_21}$ iz točke C_2 dobiva se točka B. Ako se zatim iz točke 1 opiše kružni luk polumjera $R_3 = \overline{1B}$ do presjeka sa zadanom kružnicom, dobiva se točka 2 (tjeme 2 peterokuta). Duljina $\overline{12}$ predstavlja stranicu pravilnog peterokuta. Otvorom šestara $\overline{12}$, polazeći iz točke 1 kao središta, određuju se preostale tri točke (tjemena) pravilnog peterokuta (točke 5, 4 i 3).

Na slici 5.13.d prikazana je primjena podjele kružnice na pet jednakih dijelova kod nareznice.

5.12.2. Crtanje pravilnog šesterokuta

Pravilni šesterokut može se konstruirati pomoću pravokutnog trokuta 30° - 60° - 90° i ravnala koje služi kao vodilica (slike 5.14.a i 5.14.b). Iz točaka A i B (slika 5.14.a) trokutom se povlače pravci (stranice šesterokuta) koji s vodoravnim pravcem zatvaraju kut od 60° . Spajanjem presječnih točaka tih pravaca i zadane kružnice dobit će se preostale dvije vodoravne stranice šesterokuta. Povlačenjem tangenti na kružnicu, koje zatvaraju kut od 30° (odnosno 90°) s vodoravnim

pravcem, dobit će se stranice traženog pravilnog šesterokuta (slika 5.14.b).



Slika 5.14. Crtanje pravilnog šesterokuta, odnosno podjela kružnice na šest jednakih dijelova

Konstruiranje pravilnog šesterokuta može se izvesti i pomoću podjele zadane kružnice na 6 jednakih dijelova. Iz točke B (2) (slika 5.14.c) šestarom opisati kružni luk polumjera R (jednako polumjeru zadane kružnice). Postupak ponoviti opisivanjem kružnog luka polumjera R iz točke A (5). U presjeku opisanih lukova sa zadanom kružnicom dobivaju se točke (tjemena) 1, 3, 4 i 6 traženog šesterokuta.

Postupak dijeljenja zadane kružnice na 6 jednakih dijelova može se provesti i pomoću pravokutnog trokuta $30^\circ-60^\circ-90^\circ$ te ravnala kao vodilice, kao što je to prikazano na slici 5.14.d.

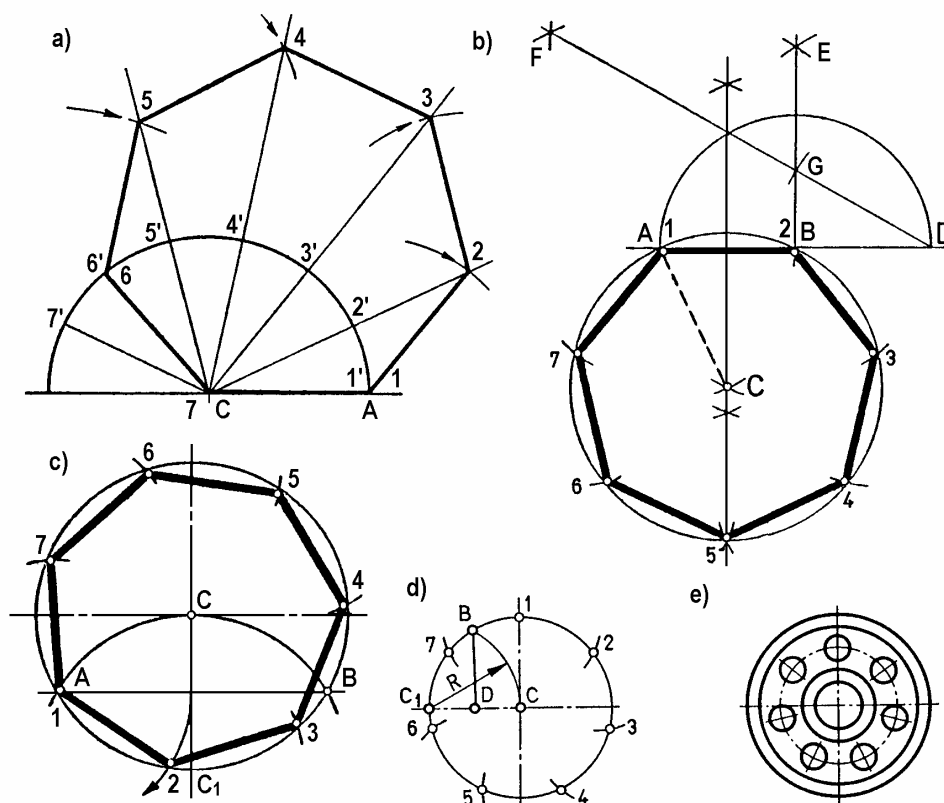
Na slici 5.14.e prikazana je primjena podjele kružnice na šest jednakih dijelova kod strojnog dijela sa šest jednako raspoređenih ispusta, odnosno provrta.

5.12.3. Crtanje pravilnog sedmerokuta

Crtanje pravilnog sedmerokuta može se izvesti pomoću polovine polumjera \overline{CA} (slika 5.15.a). Polovina kružnice podijeli se na 7 jednakih dijelova, a zatim se iz središta kružnice C povlače pravci kroz točke 2', 3', 4', 5' i 6'. Spojnice \overline{CA} i $\overline{C6'}$ predstavljaju dvije stranice traženog sedmerokuta. Zatim se šestarom otvora \overline{CA} opiše kružni luk iz točke 6' (6) do presjeka s pravcem koji prolazi kroz točke C i 5'. Presječna točka je točka 5 (tjeme sedmerokuta). Točka 4 dobije se opisivanjem luka istog polumjera iz točke 5.

Na sličan se način dobiju i ostale točke (tjemena) traženog sedmerokuta. Ako

je poznata jedna stranica \overline{AB} ($\overline{12}$) pravilnog sedmerokuta (slika 5.15.b), treba je produžiti udesno i nanijeti iz točke B duljinu \overline{AB} . Iz tako dobivene točke D opisati šestarom kružni luk polumjera \overline{AD} . Kružni luk istog polumjera opisati i iz točke A. U presjeku ovih dvaju lukova dobit će se točka E, koja leži na okomici \overline{BE} . Zatim se otvorom šestara opišu lukovi iz točke A i točke E. Presjekom ovih dvaju lukova određena je točka F, koja se spoji s točkom D. Spojnica \overline{DF} presijeca okomicu \overline{BE} u točki G. Duljina \overline{DG} polumjer je opisane kružnice oko traženog sedmerokuta. Središte opisane kružnice C odredit će se opisivanjem kružnog luka šestarom otvora \overline{DG} iz točke A ili B (uz prethodno određenu središnjicu stranice \overline{AB}). Nakon opisivanja kružnice polumjera \overline{DG} , presijecanjem kružnice šestarom otvora \overline{AB} odrede se točke (tjemena) traženog sedmerokuta.



Slika 5.15. Crtanje pravilnog sedmerokuta, odnosno podjela kružnice na sedam jednakih dijelova

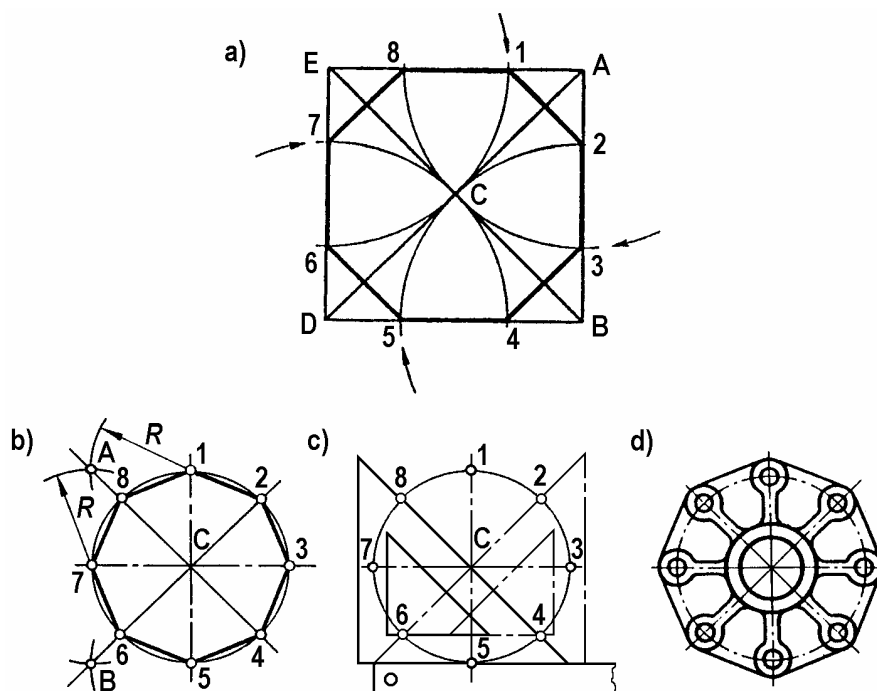
U slučaju da je zadana kružnica u koju treba upisati sedmerokut, konstruiranje sedmerokuta počinje kao pri konstruiranju jednakokračnog trokuta (vidi točku 5.10.) opisivanjem kružnog luka jednakog polumjera iz točke C_1 kao središta (slika 5.15.c). Dobivene presječne točke A i B spoje se pravcem, a polovica duljine \overline{AB} predstavlja stranicu traženog sedmerokuta, koja se na kružnicu prenosi potreban broj puta.

Slična konstrukcija dana je i na slici 5.15.d, a općenito se upotrebljava za

podjelu kružnice na 7 jednakih dijelova. Primjer podjele kružnice na 7 jednakih dijelova prikazan je na slici 5.15.e (remenica sa sedam provrta za smanjenje mase).

5.12.4. Crtanje pravilnog osmerokuta

Crtanje pravilnog osmerokuta pomoću poznatog kvadrata ABDE svodi se na opisivanje kružnih lukova polumjera jednakog polovici dijagonale \overline{AD} (odnosno \overline{BE}) iz tjemena kvadrata kao središta zakrivljenja (slika 5.16.a). Presjeci kružnih lukova opisanih iz A, B, D i E, s odgovarajućim stranicama kvadrata, definirat će tjemena traženog osmerokuta (od 1 do 8).



Slika 5.16. Crtanje pravilnog osmerokuta, odnosno podjela kružnice na osam jednakih dijelova

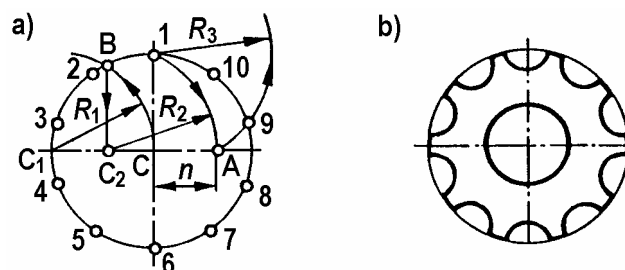
Konstruiranje pravilnog osmerokuta moguće je izvesti i pomoću podjele zadane kružnice na 8 jednakih dijelova. Kako je zadana kružnica podijeljena na 4 jednaka dijela međusobno okomitim središnjicama, potrebno je podijeliti prave kutove $1C7$ i $7C5$ na dva jednaka dijela (slika 5.16.b). Postupak podjele prikazan je za kut $1C7$. Iz točke 1 i 7 opisani kružni lukovi polumjera R sijeku se u točki A, koja spojena s točkom C određuje točku 8 (tjeme) osmerokuta. Produljenjem pravca koji prolazi kroz točke A i C na drugu stranu definirat će se točka 4 osmerokuta. Analognim postupkom odredit će se i preostale točke (tjemena) traženog osmerokuta.

Podjela zadane kružnice na 8 jednakih dijelova može se izvesti i pomoću pravokutnog trokuta $45^\circ-45^\circ-90^\circ$ te ravnala kao vodilice (slika 5.16.c). Povlačenjem pravaca pod kutom od 45° kroz središte kružnice C dobit će se točke 2, 6, 8 i 4 traženog osmerokuta.

Na primjeru poklopca kućišta dana je primjena podjele kružnice na 8 jednakih dijelova (slika 5.16.d).

5.12.5. Crtanje pravilnog deseterokuta

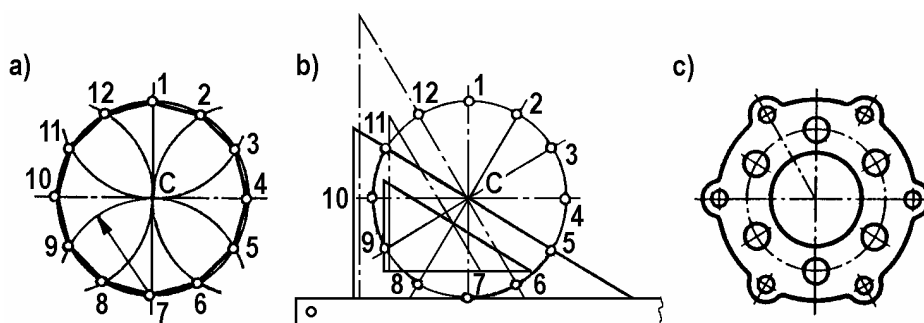
Crtanje pravilnog deseterokuta moguće je izvesti pomoću podjele zadane kružnice na 10 jednakih dijelova (slika 5.17.a). Za izvođenje ove podjele potrebno je primijeniti postupak identičan onome kod podjele kružnice na pet jednakih dijelova (vidi točku 5.12.1. i objašnjenje vezano za sliku 5.13.c). Odrežak $\overline{CA} = n$ predstavlja stranicu traženog deseterokuta. Na slici 5.17.b dan je primjer primjene podjele kružnice na deset jednakih dijelova.



Slika 5.17. Crtanje pravilnog deseterokuta, odnosno podjela kružnice na deset jednakih dijelova

5.12.6. Crtanje pravilnog dvanaesterokuta

Crtanje pravilnog dvanaesterokuta moguće je izvesti pomoću podjele zadane kružnice na 12 jednakih dijelova (slike 5.18.a i 5.18.b). Slično podjeli zadane kružnice na 6 jednakih dijelova (vidi točku 5.12.2. i objašnjenje vezano za sliku 5.14.c), i ovdje se šestarom otvora jednakog polumjeru zadane kružnice R opišu kružni lukovi iz točaka 1, 7, 4 i 10. U presjeku tih lukova i zadane kružnice dobit će se ostale točke (tjemena) traženog dvanaesterokuta (slika 5.18.a).



Slika 5.18. Crtanje pravilnog dvanaesterokuta, odnosno podjela kružnice na dvanaest jednakih dijelova

Podjela zadane kružnice na 12 jednakih dijelova moguća je i pomoću trokuta $30^\circ-60^\circ-90^\circ$ i ravnala kao vodilice (slika 5.18.b). Rabeći kutove od 30° i 60°

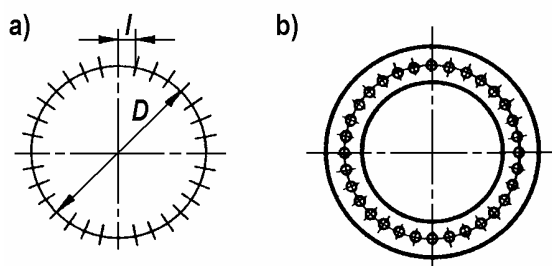
povući pravce koji prolaze kroz središte kružnice C. U presjeku s kružnicom pravci određuju točke (tjemena) od 1 do 12 traženog dvanaesterokuta. Na slici 5.18.c dan je primjer strojnog dijela koji ima 12 jednako raspoređenih provrta.

5.12.7. Crtanje pravilnog mnogokuta

S dovoljnom točnosti moguće je podijeliti zadanu kružnicu na proizvoljan broj jednakih dijelova, ako se rabi tablica 5.1. u kojoj su dani svi potrebni elementi pravilnih mnogokuta (poligona) [19]. Veličine u tablici 5.1. imaju sljedeće značenje: S – ploština površine poligona, a – stranica poligona, n – broj stranica poligona, R – polumjer opisane kružnice, i r – polumjer upisane kružnice².

Tablica 5.1. Elementi pravilnih poligona [19]

n	$\frac{S}{a^2}$	$\frac{S}{R^2}$	$\frac{S}{r^2}$	$\frac{R}{a}$	$\frac{R}{r}$	$\frac{a}{R}$	$\frac{a}{r}$	$\frac{r}{R}$	$\frac{r}{a}$
3	0,4330	1,2990	5,1962	0,5774	2,0000	1,7321	3,4641	0,5000	0,2887
4	1,0000	2,0000	4,0000	0,7071	1,4142	1,4142	2,0000	0,7071	0,5000
5	1,7205	2,3776	3,6327	0,8507	1,2361	1,1756	1,4531	0,8090	0,6882
6	2,5981	2,5981	3,4641	1,0000	1,1547	1,0000	1,1547	0,8660	0,8660
7	3,6339	2,7364	3,3710	1,1524	1,1099	0,8678	0,9631	0,9010	1,0383
8	4,8284	2,8284	3,3137	1,3066	1,0824	0,7654	0,8284	0,9239	1,2071
9	6,1818	2,8925	3,2757	1,4619	1,0642	0,6840	0,7279	0,9397	1,3737
10	7,6942	2,9389	3,2492	1,6180	1,0515	0,6180	0,6498	0,9511	1,5388
12	11,1960	3,0000	3,2154	1,9319	1,0353	0,5176	0,5359	0,9659	1,8660
15	17,6420	3,0505	3,1883	2,4049	1,0223	0,4158	0,4251	0,9781	2,3523
16	20,1090	3,0615	3,1826	2,5629	1,0196	0,3902	0,3978	0,9808	2,5137
20	31,5690	3,0902	3,1677	3,1962	1,0125	0,3129	0,3168	0,9877	3,1569
24	45,5750	3,1058	3,1597	3,8306	1,0086	0,2611	0,2633	0,9914	3,7979
32	81,2250	3,1214	3,1517	5,1012	1,0048	0,1960	0,1970	0,9952	5,0766
48	183,0800	3,1326	3,1461	7,6449	1,0021	0,1308	0,1311	0,9979	7,6285
64	325,6900	3,1366	3,1441	10,1900	1,0012	0,0981	0,0983	0,9988	10,1780



Slika 5.19. Podjela kružnice na proizvoljan broj jednakih dijelova

Pri konstruiranju prstena (slika 5.19.b) kružnicu treba podijeliti na 32 jednaka dijela (slika 5.19.a). Ako je promjer kružnice $D = 2R$, za $n = 32$ iz tablice 5.1.

² apotema

slijedi omjer

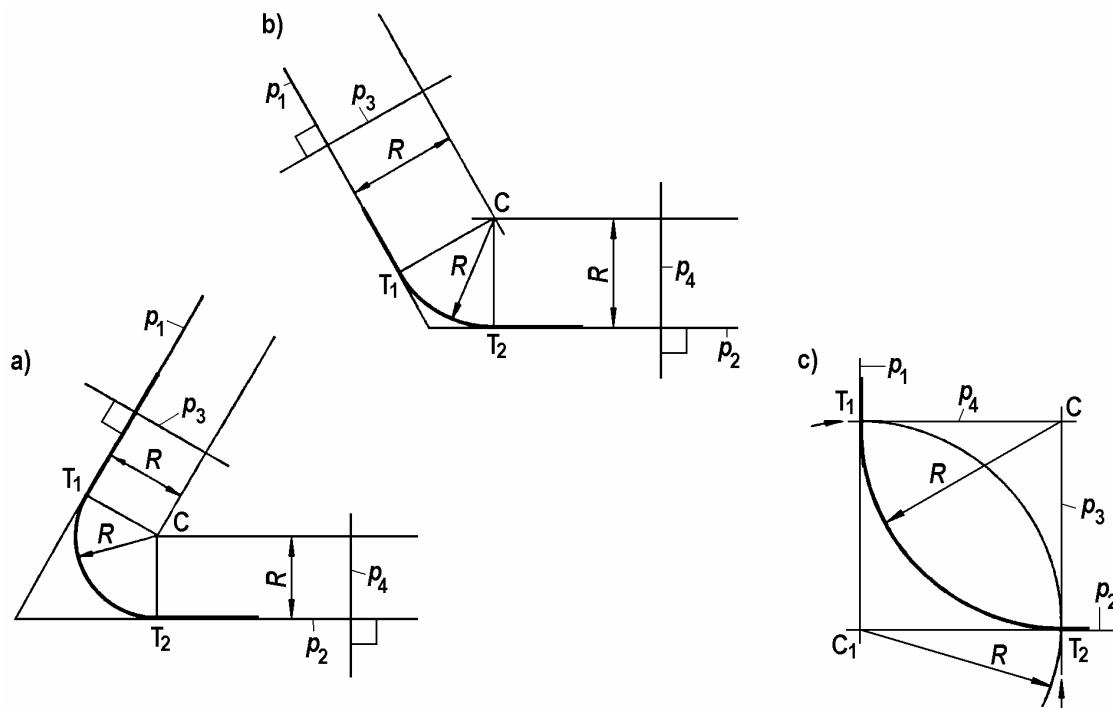
$$\frac{a}{R} = 0,1960, \text{ odnosno } a = 0,196 \cdot R.$$

Za konkretan polumjer opisane kružnice R izračunati vrijednost stranice a poligona (odnosno otvora šestara $l = a$) koji treba konstruirati.

5.13. Crtanje zaobljenja

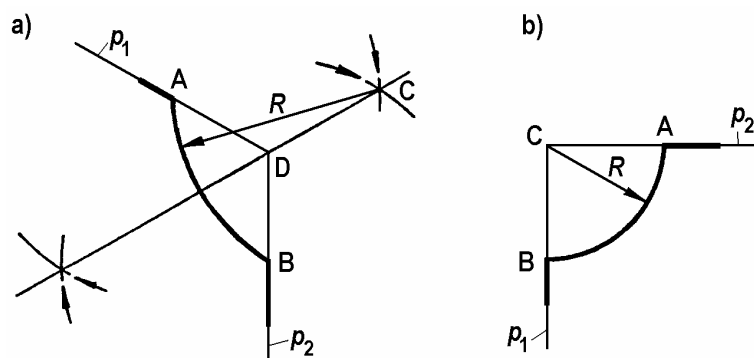
Krakove kuta p_1 i p_2 , bilo oštrog (slika 5.20.a) bilo tupog (slika 5.20.b), u području presjeka treba spojiti sa zaobljenjem polumjera R . U točki T_1 i T_2 pravci koji prelaze u krivulju istodobno su i tangente na ovu krivulju. Konstruiranje zaobljenja izvodi se tako da se prvo ucrtaju pravci p_3 i p_4 , koji su okomice na pravce p_1 i p_2 . Zatim se na udaljenosti R od pravca p_1 i p_2 ucrtaju paralelni pravci, u čijem se sjecištu C nalazi središte traženog zaobljenja. Položaj točaka T_1 i T_2 određuje se okomicama povučenim iz točke C na pravce p_1 i p_2 .

U slučaju okomitih krakova (pravi kut) (slika 5.20.c) p_1 i p_2 , zaobljenje polumjera R dobiva se tako da se iz presječne točke C_1 opiše kružni luk polumjera R . U presjeku luka s pravcima p_1 i p_2 nalaze se točke T_1 i T_2 . U ovim točkama pravci p_1 i p_2 prelaze u kružni luk. Središte traženog zaobljenja C određuje se tako da se iz točaka T_1 i T_2 povuku pravci p_3 i p_4 koji su paralelni pravcima p_1 i p_2 . U presjeku pravaca p_3 i p_4 nalazi se središte zaobljenja C .



Slika 5.20. Konstruiranje zaobljenja

Ako je za zadani kut, definiran pravcima p_1 i p_2 , potrebno konstruirati udubljenje polumjera R (slika 5.21.a), prvo se kut podijeli na dva jednaka dijela, na taj način da se naizmjenično opisuju kružni lukovi polumjera R iz poznatih točaka A i B. Presjek lukova C (koji se nalazi na središnjici kuta) predstavlja središte zakrivljenja udubljenja. U slučaju pravog kuta (slika 5.21.b) udubljenje se konstruira tako da se iz središta C (presjek međusobno okomitih pravaca p_1 i p_2) opiše kružni luk polumjera R .

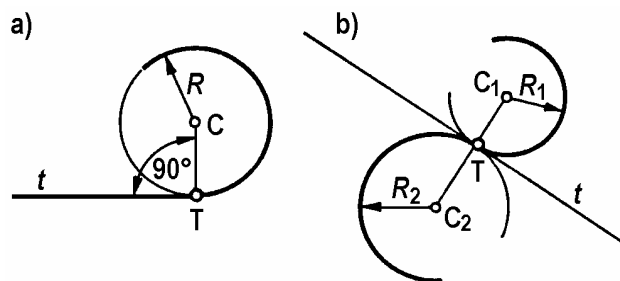


Slika 5.21. Konstruiranje udubljenja

5.14. Spajanje paralelnih pravaca pomoću dva kružna luka

Općenito, za točno i pravilno crtanje geometrijskih i strojarskih kontura, potrebno je umijeće konstruiranja spojeva, koje je zasnovano na ovim dvjema pretpostavkama:

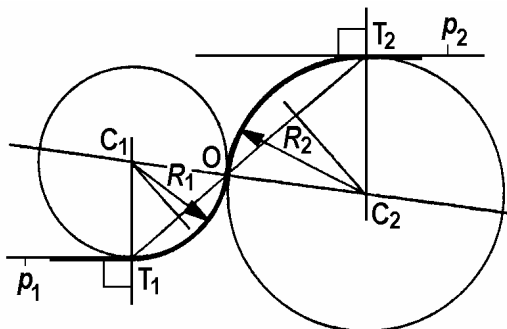
- 1) Za spojeve pravca t i kružnog luka potrebno je da središte kružnice C , kojoj pripada luk, leži na okomici povučenoj iz točke spoja T na pravac t (slika 5.22.a).
- 2) Za spojeve dvaju kružnih lukova potrebno je da središta kružnica C_1 i C_2 , kojima pripadaju lukovi, leže na pravcu koji prolazi kroz točku spoja T , a okomit je na opću tangentu kružnih lukova t (slika 5.22.b).



Slika 5.22. Općenit spoj pravca i kružnog luka te spoj dvaju kružnih lukova

Paralelni pravci p_1 i p_2 mogu se spojiti u zajednički tok pomoću dva kružna luka. Spajanjem proizvoljno odabranih točaka T_1 i T_2 , u kojima će pravci p_1 i p_2 biti tangente na kružne lukove, te podjelom duljine $\overline{T_1T_2}$ točkom O na dva dijela u

željenom omjeru mogu se odrediti središta zakrivljenja lukova C_1 i C_2 (slika 5.23.). Iz točke T_1 i T_2 povuku se okomice na pravac p_1 i p_2 , a zatim se konstruira središnjica duljine $\overline{T_1O}$ i $\overline{T_2O}$. U presjeku okomica i središnjica dobit će se točke C_1 i C_2 , odnosno središta zakrivljenja kružnih lukova polumjera $R_1 + R_2$ opisanog oko središta C_2 .



Slika 5.23. Spajanje paralelnih pravaca pomoću dva kružna luka

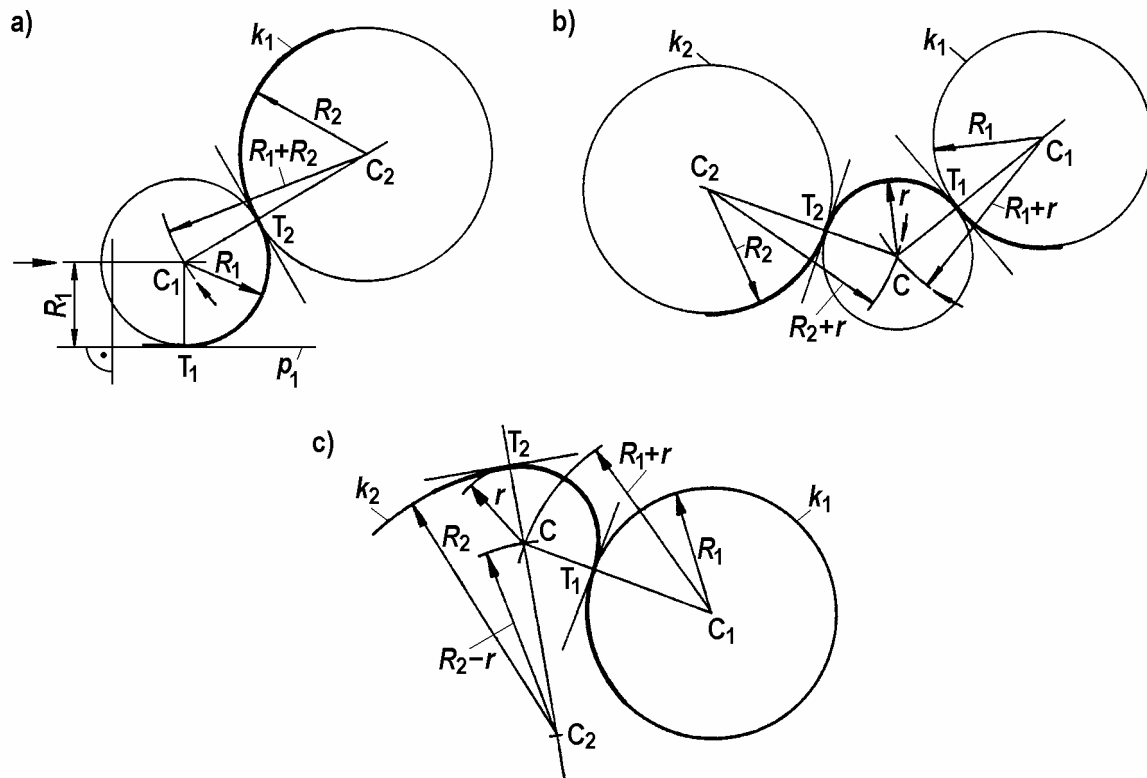
5.15. Spajanje pravca i kružnog luka zadanog polumjera pomoću drugog kružnog luka

Spajanje pravca p_1 i kružnog luka k_1 polumjera R_2 opisanog oko središta C_2 pomoću kružnog luka unaprijed usvojenog polumjera R_1 (slika 5.24.a) izvodi se tako što se položaj središta C_1 kružnog luka, koji će spojiti pravac p_1 i luk k_1 , nalazi u presjeku pravca koji je paralelan pravcu p_1 , a po okomici udaljen za R_1 od istog, i kružnog luka polumjera $R_1 + R_2$ opisanog oko središta C_2 .

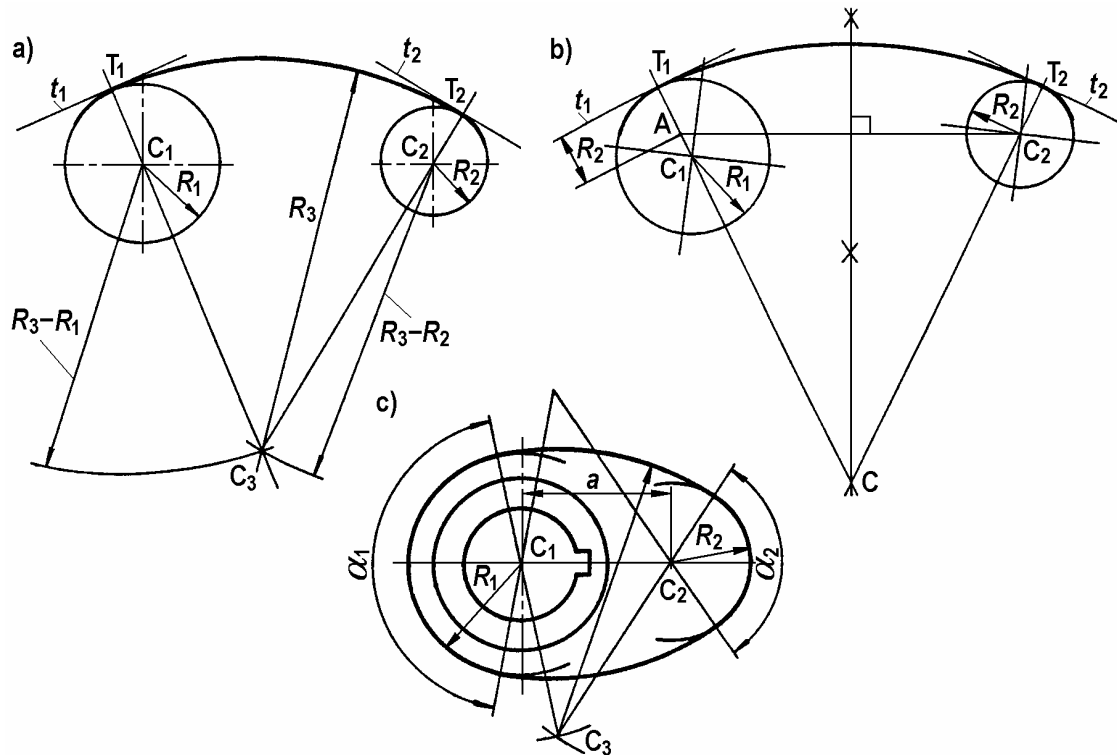
5.16. Spajanje kružnih lukova

Dva konkavna (udubljena) kružna luka k_1 polumjera R_1 i k_2 polumjera R_2 spajaju se u kontinuiranu krivulju pomoću konveksnog (izbočenog) kružnog luka polumjera r , određivanjem središta zakrivljenoga konveksnog luka C koje leži u presjeku kružnih lukova polumjera $R_1 + r$ i $R_2 + r$ opisanih oko središta C_1 i C_2 (slika 5.24.b). Spojne pravce $\overline{C_1C}$ i $\overline{C_2C}$ određuju točke T_1 i T_2 u kojima su tangente za susjedne kružne lukove zajedničke.

Konkavni (udubljeni) kružni luk k_1 polumjera R_1 i konveksni (izbočeni) kružni luk k_2 polumjera R_2 mogu se spojiti u kontinuiranu krivulju pomoću kružnog luka polumjera r (slika 5.24.c), određivanjem središta zakrivljenja C ovog kružnog luka, koje se nalazi u presjeku kružnih lukova polumjera $R_1 + r$ i $R_2 - r$ opisanih oko središta C_1 i C_2 .



Slika 5.24. Spajanje pravca i kružnog luka zadanog polumjera pomoću drugog kružnog luka (a) i spajanje kružnih lukova (b i c)



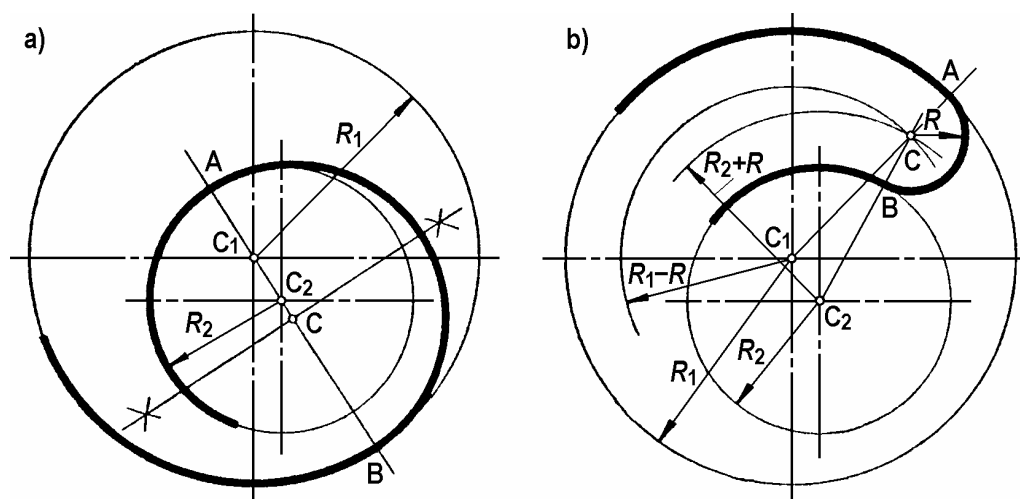
Slika 5.25. Spajanje kružnih lukova

Dakle, na spojnim pravcima $\overline{C_1C}$ i $\overline{C_2C}$ nalaze se točke T_1 i T_2 u kojima su tangente susjednih kružnih lukova zajedničke. Dva konveksna (izbočena) kružna luka polumjera R_1 i R_2 mogu se spojiti u kontinuiranu krivulju pomoću trećeg konveksnog kružnog luka uz unaprijed usvojenu jednu od točaka zajedničkih tangenti T_1 i T_2 na susjednim kružnim lukovima (slika 5.25.b) tako da se odredi položaj središta C trećeg konveksnog kružnog luka. Traženo središte C nalazi se u presjeku središnjice duljine $\overline{AC_2}$ i pravca koji prolazi kroz unaprijed postavljenu točku T_1 i središte C_1 . Položaj točke T_2 određuje se povlačenjem pravca kroz točke C i C_2 te presjekom istog s kružnicom polumjera R_2 .

Za primjer sličan prethodnom, uz pretpostavku da je polumjer R trećeg spojnog kružnog luka unaprijed poznat (slika 5.25.a), središte zakrivljenja C_3 nalazi se u presjeku kružnih lukova polumjera $R_3 - R_1$ i $R_3 - R_2$ opisanih oko središta C_1 i C_2 . Točke T_1 i T_2 , u kojima su tangente za susjedne kružne lukove zajedničke, nalaze se na pravcima koji spajaju središte C_3 sa središtima C_1 i C_2 .

Identičan postupak koristi se i pri određivanju profila brijega (slika 5.25.c) čija se kontura sastoji od tri kružna luka polumjera R_1 , R_2 i R_3 . Spajanje ekscentričnih kružnica kružnim lukom polumjera R izvodi se tako da se opišu kružni lukovi $R_1 - R$ i $R_2 + R$ oko središta C_1 i C_2 , u čijem se presjeku nalazi središte C kružnog luka polumjera R (slika 5.26.b). Granične točke A i B određuju se kao presjek pripadnih kružnica i pravaca povučenih kroz točke C_1 i C , odnosno C_2 i C .

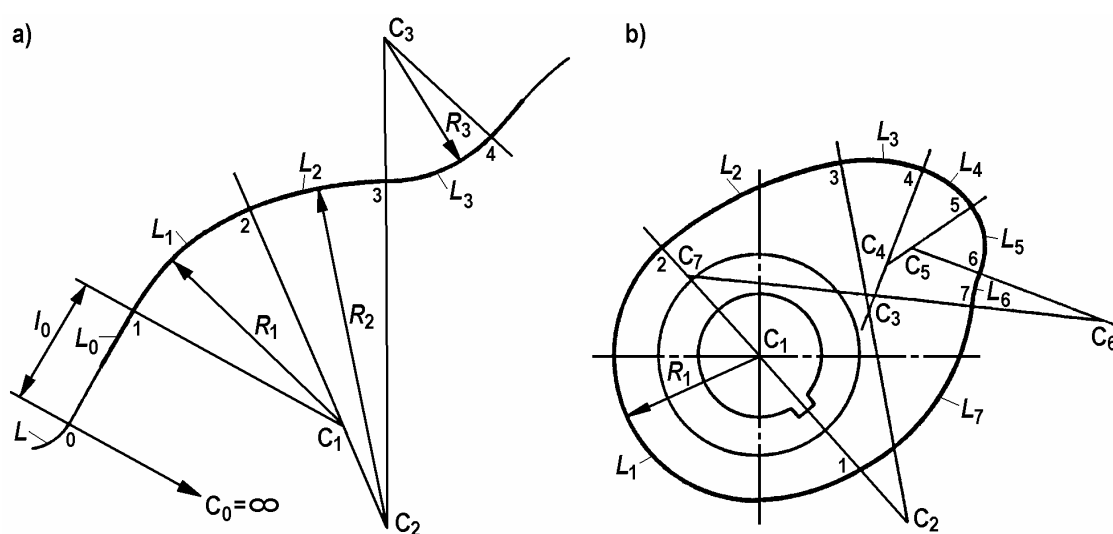
Spoj ekscentričnih kružnica polumjera R_1 i R_2 sa središtima C_1 i C_2 (slika 5.26.a) izvodi se na taj način da se odredi središte zakrivljenja spojnog kružnog luka C . Povlačenjem pravca kroz središta C_1 i C_2 i njegovim presjekom s odgovarajućim kružnicama dobit će se granične točke A i B . Polovljenjem duljine A i B bit će određeno i središte C .



Slika 5.26. Spajanje ekscentričnih kružnica

5.17. Prikazivanje proizvoljnih krivulja dijelovima pravaca i kružnih lukova

Proizvoljna krivulja L može se s dovoljno točnim približenjem zamijeniti dijelovima pravaca i kružnih lukova. Dio krivulje L_0 između točaka 0 i 1 može se zamijeniti pravcem. U točki 1 pravac postaje tangenta na kružni luk L_1 polumjera R_1 (slika 5.27.a), koji se vrlo dobro približava krivulji L na tom mjestu. S obzirom na to da je krivulja L kontinuirana (bez prijelomnih točaka), u točki 2, od koje se kružni luk L_2 dobro približava krivulji L , tangenta i okomica moraju biti zajedničke. To znači da za oba kružna luka L_1 i L_2 središta zakrivljenja C_1 i C_2 moraju ležati na istoj okomici, odnosno na pravcu koji prolazi kroz točke C_1 , C_2 i 2.



Slika 5.27. Prikazivanje proizvoljnih krivulja dijelovima pravaca i kružnih lukova

Isto vrijedi i za ostale točke prijelaza s jednog kružnog luka na sljedeći, s tom razlikom što se kod prijelaza iz konveksnog u konkavno zakrivljenje središta susjednih kružnih lukova nalaze na suprotnim stranama krivulje L , ali uvijek na istoj okomici (slučaj središta C_2 i C_3).

Prethodno opisana konstrukcija primjenjuje se i pri konstruiranju bregova bregastih mehanizama (slika 5.27.b) čija kontura može biti vrlo složena. Treba uočiti da središta kružnih lukova leže redom jedno za drugim na izlomljenim pravcima koji predstavljaju evolutu brijega.

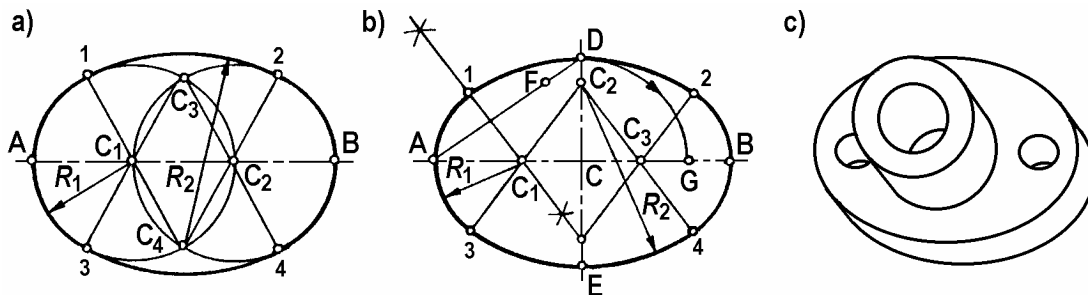
Prilikom kotiranja potrebno je definirati koordinate svakog središta kružnog luka i kut između krakova kojima pripada odgovarajući kut.

5.18. Pravilne krivulje

5.18.1. Oval (Cassinijev oval)

Konstruiranje (elipsi sličnog) Cassinijevog ovala za zadanu veliku os \overline{AB} provodi se na sljedeći način (slika 5.28.a). Os \overline{AB} podijeli se na tri jednaka dijela

($\overline{AO_1}$, $\overline{O_1O_2}$, $\overline{O_2B}$), a zatim se iz središta C_1 i C_2 opišu kružnice polumjera $R_1 = \overline{C_1C_2}$, koje svojim presjekom određuju točke C_3 i C_4 . Spojne točke kružnih lukova koji tvore oval (točke 1, 2, 3 i 4) dobit će se kao presjek produljenih spojnica $\overline{C_4C_1}$, $\overline{C_4C_2}$, $\overline{C_3C_1}$ i $\overline{C_3C_2}$ s opisanim kružnicama. Točke C_1 , C_2 , C_3 i C_4 središta su zakrivljenja kružnih lukova koji tvore oval.



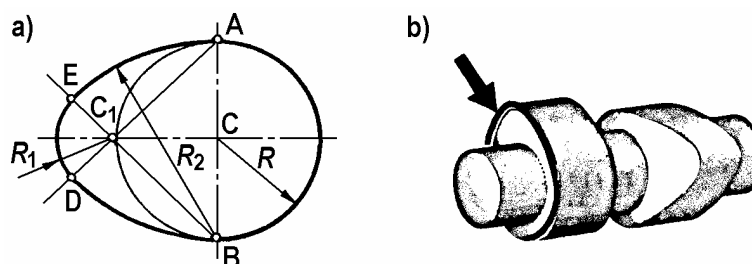
Slika 5.28. Konstruiranje ovala

Konstrukcija ovala kada su zadane obje osi \overline{AB} i \overline{DE} prikazana je na slici 5.28.b. Iz točke presjeka C , zadanih osi \overline{AB} i \overline{DE} , opisati kružni luk polumjera \overline{CD} (polovina manje osi ovala) do presjeka s vodoravnom osi ovala \overline{AB} u točki G . Točku A spojiti pravcem s točkom D , a zatim iz točke D šestarom nanijeti duljinu \overline{GB} i na taj način odrediti točku F . Središnjicu odreska \overline{AF} produljiti do presjeka s vodoravnom i uspravnom osi ovala (točke C_1 i C_4). Duljinu $\overline{CC_1}$ šestarom prenijeti desno od točke C , a duljinu $\overline{CC_4}$ iznad točke C . Na taj su način definirane točke C_3 i C_2 , koje predstavljaju središta zakrivljenja lukova 24 i 34 (točke C_1 i C_2 središta su zakrivljenja lukova 13 i 12) traženog ovala.

Konturu u obliku ovala ima na primjer prirubnica prikazana na slici 5.28.c.

5.18.2. Ovoid

Za razliku od ovala, ovoid (zatvorena ovojnica) ima samo jednu os simetrije. Polumjeri R i R_1 kružnih lukova, čija središta leže na osi simetrije ovoida, različiti su ($R \neq R_1$) (slika 5.29.a).



Slika 5.29. Konstruiranje ovoida

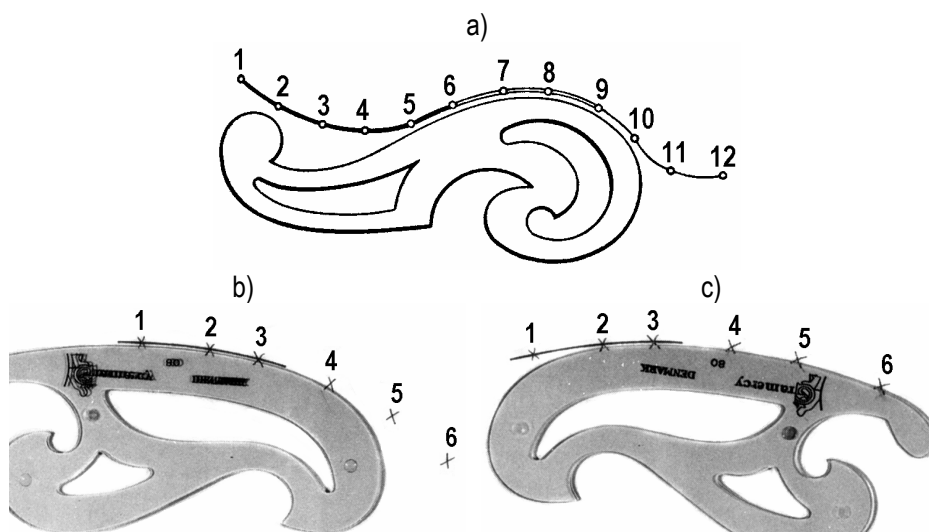
Konstruiranje ovoida, ako je zadana os \overline{AB} , prikazano je na slici 5.29.a. Opisati kružnicu promjera jednakog duljini \overline{AB} . Zatim iz točaka A i B kroz točku C_1 (točka presjeka kružnice polumjera R s osi simetrije) povući pravce. Iz točaka A i B, kao iz središta zakrivljenja, opisati kružne lukove AE i BD polumjera R_2 , a iz središta C_1 opisati kružni luk ovoida ED polumjerom R_1 .

Na slici 5.29.b prikazan je brijeg bregaste osovine koji ima oblik ovoida.

5.19. Krivulje koje se crtaju pomoću krivuljara

5.19.1. Crtanje krivulje pomoću krivuljara

U tehničkom je crtanju često potrebno crtati razne krivulje, koje se sastoje od niza spojenih dijelova, koje nije moguće konstruirati pomoću šestara. Ovakve krivulje definirane su nizom točaka, koje se prvo ovlaš spoje prostoručno olovkom, a zatim se pomoću krivuljara (slika 5.31.) i konačno spoje. Promatrane krivulje prostiru se u ravnini i zbog toga se nazivaju ravninske krivulje. Prostorne krivulje nisu predmet proučavanja u ovom udžbeniku.



Slika 5.31. Spajanje kontinuirane krivulje pomoću krivuljara

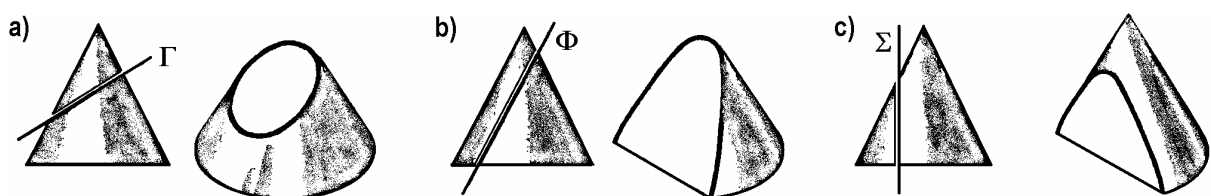
Da bi se kontinuirana krivulja nacrtala, potrebno je imati komplet od nekoliko različitih krivuljara. Nakon izbora odgovarajućeg krivuljara, potrebno je rubom krivuljara spojiti što više zadanih točaka krivulje, a najmanje tri točke (slike 5.31.b i 5.31.c). Na slici 5.31.a dio krivulje između točaka 1 i 6 već je spojen. Za crtanje sljedećeg dijela krivulje potrebno je rub krivuljara prisloniti na primjer uz točke 5 do 10, pri čemu krivuljar mora dodirivati dio već nacrtanog dijela krivulje (između točaka 5 i 6). Zatim spojiti dio krivulje između točaka 6 i 9, ostavljajući dio između točaka 9 i 10 nespojen, što omogućava da se dobije kontinuiraniji dio krivulje između točaka 9 i 12.

5.19.2. Presječne krivulje rotacijskog stošca

Presijecanjem rotacijskog stošca ravninama, koje su različito položene u odnosu na izvodnice ili ravninu osnovice rotacijskog stošca, dobivaju se njegove presječne krivulje u obliku elipse, parabole i hiperbole, odnosno kružnice i trokuta. Ravnina osnovice okomita je na os rotacijskog stošca.

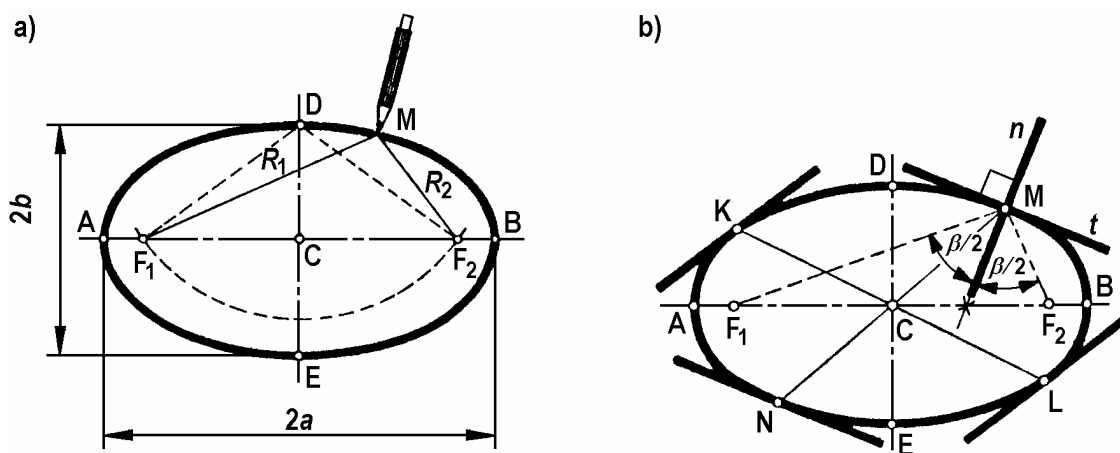
Ako je ravnina presjeka Γ nagnuta prema ravnini osnovice tako da siječe sve izvodnice stošca u konačnici, presječna krivulja je *elipsa* (slika 5.32.a). Ako je ravnina presjeka Φ usporedna s jednom izvodnicom stošca, presječna krivulja je *parabola* (slika 5.32.b). Ako je ravnina presjeka Σ usporedna s dvije izvodnice stošca siječe stožac u *hiperboli*. Hiperbola se dobiva i u slučaju ako je ravnina presjeka Σ okomita na ravninu osnovice stošca (slika 5.32.c).

Ako je ravnina presjeka okomita na ravninu osnovice stošca i polovi stožac, dobiva se *trokut*. Ako je ravnina presjeka paralelna s ravninom osnovice, dobiva se *kružnica*.



Slika 5.32. Presjeci rotacijskog stošca ravninama

Elipsa ima dvije osi simetrije, \overline{AB} ($2a$) i \overline{DE} ($2b$), koje se zovu velika i mala os (slika 5.33.a). Točke F_1 i F_2 zovu se žarišta³, a udaljenosti bilo koje točke M na elipsi od žarišta (R_1 i R_2) zovu se žarišni radijvektori. Elipsa je geometrijsko mjesto točaka za koje je zbroj udaljenosti od dviju zadanih točaka (žarišta) konstantna veličina ($= 2a$) (žarišna svojstva elipse ili definicija elipse) [13].



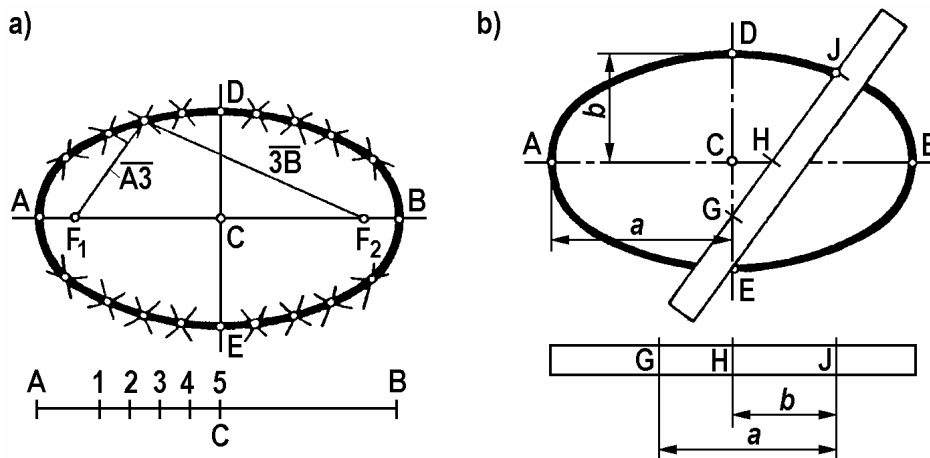
Slika 5.33. Osnovni parametri elipse (a) i konstruiranje tangente na elipsu (b)

³ fokus

Tangenta t u bilo kojoj točki elipse M (slika 5.33.b) dobiva se tako da se prvo točka M spoji sa žarištima F_1 i F_2 . Zatim se kut između žarišnih radijvektora podijeli na dva jednaka dijela. Središnjica kuta je okomica n na traženu tangentu t .

Ako se iz točke M povuku pravci kroz središte C do točke N na elipsi, dobiva se jedan promjer elipse. Drugi promjer dobiva se povlačenjem pravca paralelnog s tangentom t kroz središte C (slika 5.33.b). Promjeri \overline{MN} i \overline{KL} zovu se konjugirani (združeni) promjeri elipse.

Konstruiranje elipse, ako su poznate mala i velika os, izvodi se tako da se prvo nađu žarišta F_1 i F_2 . Žarišta se određuju kao presjek kružnog luka polumjera $\overline{CA} = \overline{CB}$ opisanog iz točke D ili E i velike osi elipse \overline{AB} . Pomoću konca duljine $2a$ ($\overline{F_1D} + \overline{DF_2}$) i olovke moguće je nacrtati elipsu (slika 5.33.a). Konac pri tome mora biti učvršćen svojim krajevima u točki F_1 i F_2 .

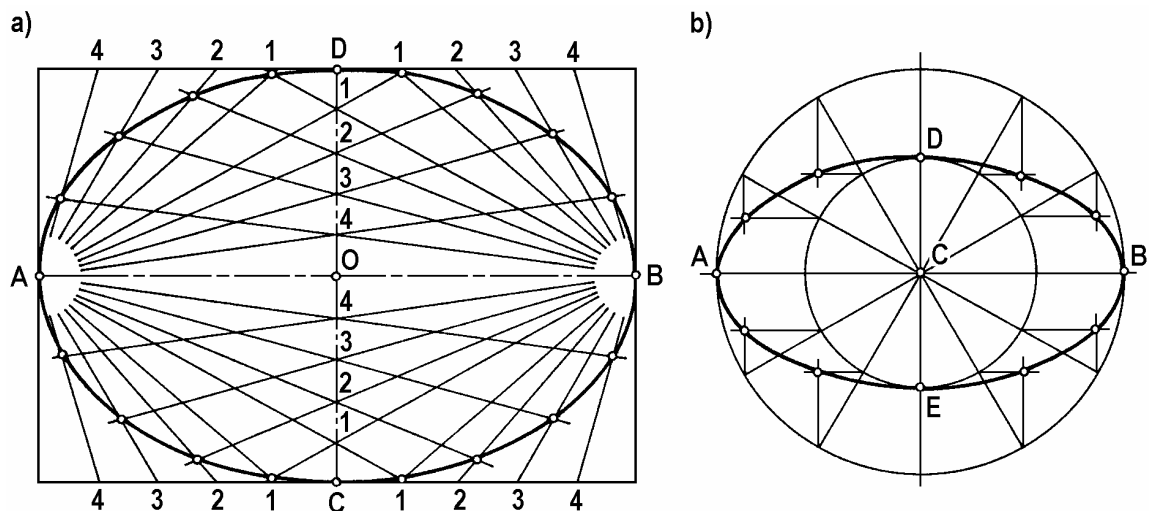


Slika 5.34. Konstruiranje elipse pomoću šestara (a) i pomoću papirnog ravnala (b)

Umjesto pomoću konca, elipsa se može konstruirati i pomoću šestara (slika 5.34.a). Nacrtati veliku i malu os i odrediti žarišta (kao u prethodnom slučaju), a ispod slike nacrtati pravac duljine \overline{AB} (velika os elipse) s odgovarajućom podjelom. Zatim naizmjenično uzimati u otvor šestara duljine $\overline{A1}$, $\overline{A2}$, $\overline{A3}$, $\overline{A4}$ i iz oba žarišta opisivati lukove s obje strane velike osi, a nakon toga naizmjenično uzimati u otvor šestara duljine $\overline{1B}$, $\overline{2B}$, $\overline{3B}$, $\overline{4B}$ i iz oba žarišta ponovno opisivati lukove s obje strane velike osi. Presjeci ovako opisanih lukova odredit će točke elipse. Elipsa se može konstruirati i pomoću ravnala izrađenog od papira (slika 5.34.b). Na papirnu traku u obliku ravnala nanijeti polovinu velike osi ($\overline{GJ} = \overline{CB}$) i polovinu male osi ($\overline{JH} = \overline{CD}$) (za unaprijed nacrtanu veliku i malu os i definirana žarišta). Kada se ravnalo postavi tako da se točka G nalazi na maloj, a točka H na velikoj osi, točka J bit će jedna od točaka elipse. Pomicanjem ravnala može se nacrtati čitav niz točaka, čijim se spajanjem dobiva elipsa.

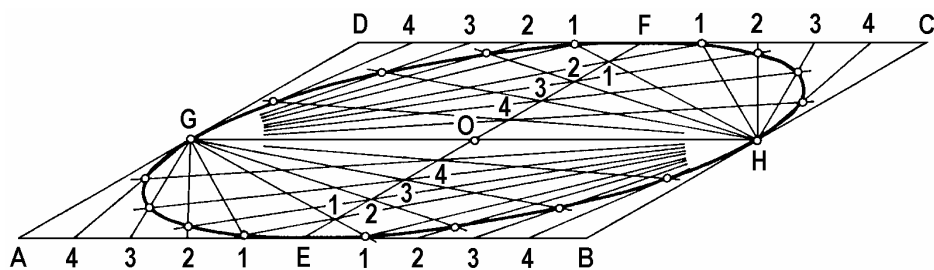
Elipsa se može konstruirati i primjenom načela razmjernosti (slika 5.35.a). Prvo se nacrtava pravokutnik čija je dulja stranica jednaka većoj osi elipse \overline{AB} , a

kraća stranica manjoj osi elipse \overline{CD} . Zatim se dulje stranice pravokutnika i manja os elipse \overline{CD} podijele na jednak broj jednakih dijelova, a dijelovi se označe brojevima, npr. od 1 do 4 (slika 5.35.a). Presjek spojnih pravaca ($\overline{A1}$, $\overline{A2}$, $\overline{A3}$, $\overline{A4}$, odnosno $\overline{B1}$, $\overline{B2}$, $\overline{B3}$, $\overline{B4}$) s pravcima povučenim iz točaka A i B kroz točke na kraćoj osi elipse odredit će točke elipse.



Slika 5.35. Konstruiranje elipse metodom razmjernosti (a) i pomoću dvije kružnice (b)

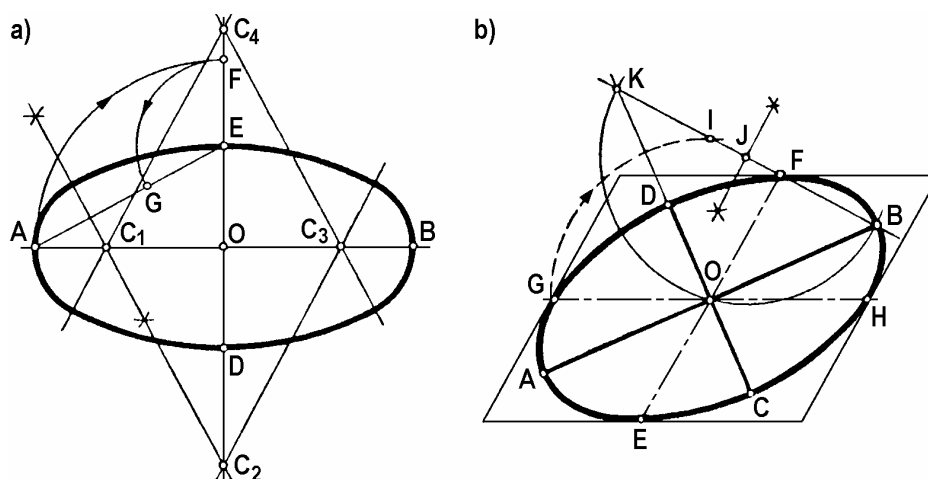
Često se primjenjuje i konstrukcija elipse pomoću dvije kružnice (slika 5.35.b). Iz središta C šestarom se opišu dvije kružnice. Jedna ima promjer \overline{AB} (veća os elipse), a druga promjer \overline{DE} (manja os elipse). Zatim se kroz središte, na jednu i drugu stranu, povuku pravci koji sijeku obje kružnice. Iz sjecišta pravaca i kružnica povlače se pravci paralelni s osi \overline{DE} (sjecišta pravaca i manje kružnice), odnosno s osi \overline{AB} (sjecišta pravaca i veće kružnice). Ovako povučeni pravci daju u presjeku točke tražene elipse. Sličan se način konstruiranja elipse metodom razmjernosti može primijeniti i pri upisivanju elipse u zadani kosi paralelogram (slika 5.36).



Slika 5.36. Konstruiranje elipse upisane u kosi paralelogram metodom razmjernosti

Ako su poznati konjugirani promjeri elipse, velika i mala os elipse (radi lakšeg crtanja elipse u tušu) može se odrediti konstrukcijom prikazanom na slici 5.37.b. Iz središta O opisati kružnicu polumjera \overline{OG} (u smjeru strelice), a zatim povlačenjem

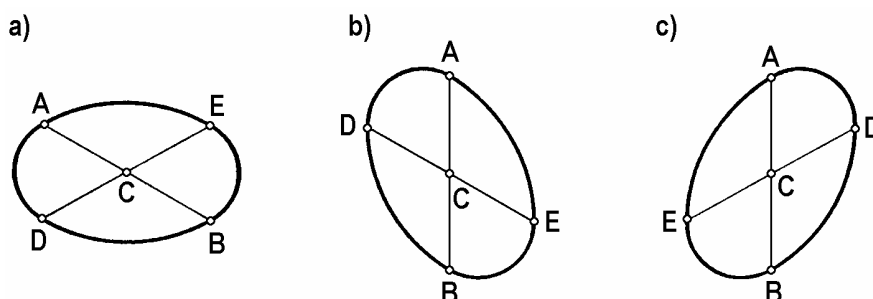
okomice iz O odrediti presječnu točku I. Kroz točke I i F povuče se pravac, a zatim se odredi: sredina duljine \overline{IF} - točka J. Otvorom šestara jednakim \overline{JO} , oko točke J opiše se polukrug kojim se određuju točke K i B. Nakon toga se iz točke K povuče pravac kroz središte O. Duljine \overline{AB} i \overline{CD} predstavljaju veliku i malu os elipse.



Slika 5.37. Približna elipsa konstruirana pomoću četiri kružna luka (a) i konstruiranje velike i male osi elipse ako su poznati konjugirani promjeri (b)

Približna elipsa, za slučaj kada su zadane velika i mala os, može se konstruirati pomoću četiri kružna luka (slika 5.37.a). Točke A i D spoje se pravcem, a zatim se iz središta O opiše kružni luk polumjera \overline{OA} do presjeka s produljenjem male osi \overline{DE} . Otvorom šestara \overline{EF} iz točke E opiše se kružni luk do presjeka sa spojnicom \overline{AE} - točka G. Odsječak \overline{AG} prepolovi se središnjicom, koja veliku os siječe u točki C_1 , a malu os u točki C_2 . Točke C_1 i C_2 prenijeti simetrično na suprotne strane i tako odrediti točke C_3 i C_4 . Ovako određene točke predstavljaju središta zakrivljenja kružnih lukova, pomoću kojih se konstruira približna elipsa.

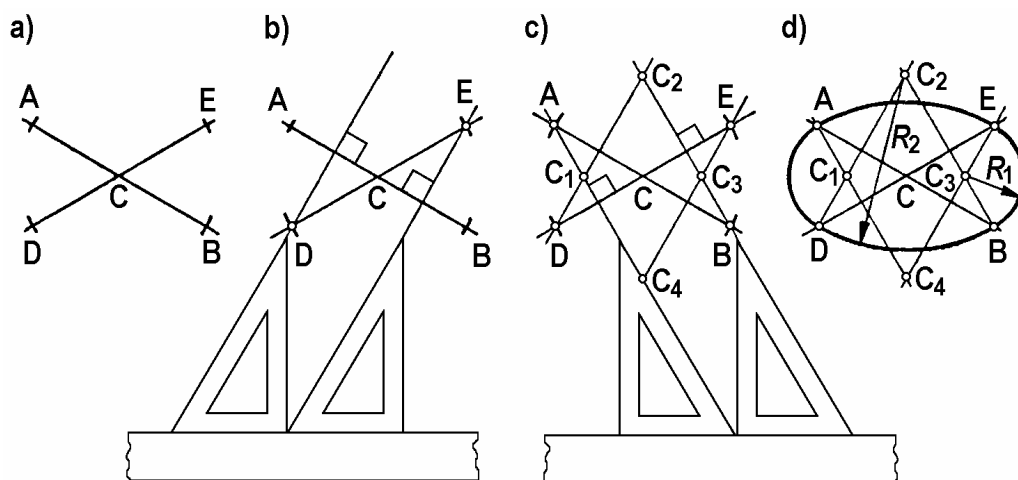
Na slici 5.38. prikazana su tri moguća položaja elipse s konjugiranim promjerima, koji se najčešće susreću kod izometrijskog prikazivanja strojnih dijelova.



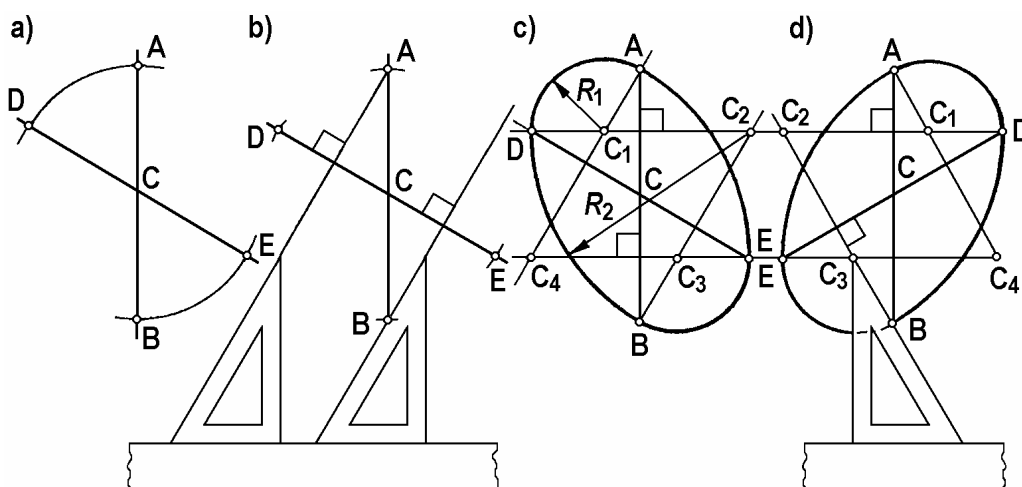
Slika 5.38. Tri slučaja elipsi s konjugiranim promjerima kod izometrijskog prikazivanja kružnice

Elipsa prikazana na slici 5.38.a konstruira se na način prikazan na slici 5.39., a elipse prikazane na slici 5.38.b i 5.38.c konstruiraju se na način prikazan na slici

5.40. Sve tri konstrukcije elipse svode se na određivanje središta zakrivljenja kružnih lukova (C_1 , C_2 , C_3 i C_4), koji opisani i spojeni u točkama A, B, C i D tvore elipse. Središta zakrivljenja određena su presjekom okomica, naizmjenično povučenih iz krajnjih točaka konjugiranih promjera, na suprotne konjugirane promjere (slike 5.39.b i 5.39.c, odnosno slike 5.40.b i 5.40.c).



Slika 5.39. Konstruiranje elipse na slici 5.38.a pomoću četiri kružna luka



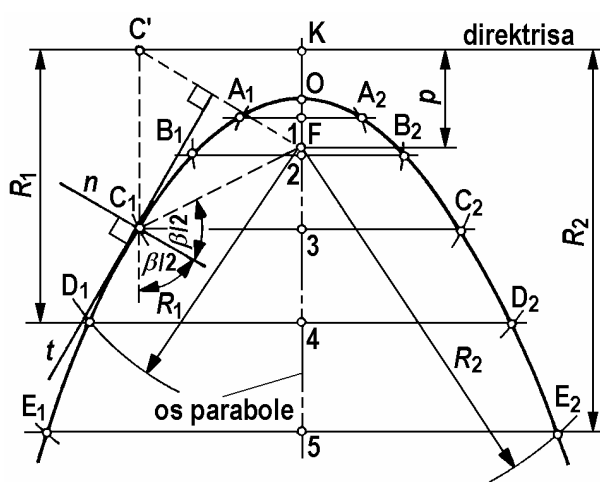
Slika 5.40. Konstruiranje elipse na slikama 5.38.b i 5.38.c pomoću četiri kružna luka

Parabola je ravninska krivulja čija je svaka točka jednako udaljena od ravnalice⁴ i žarišta F (slika 5.41). Drugo žarište nalazi se u beskonačnosti. Prema gornjoj definiciji, jedna točka parabole (tjeme parabole O) nalazi se na osi parabole točno na sredini između točaka K i F. Udaljenost \overline{KF} između ravnalice i žarišta naziva se žarišnim parametrom parabole p .

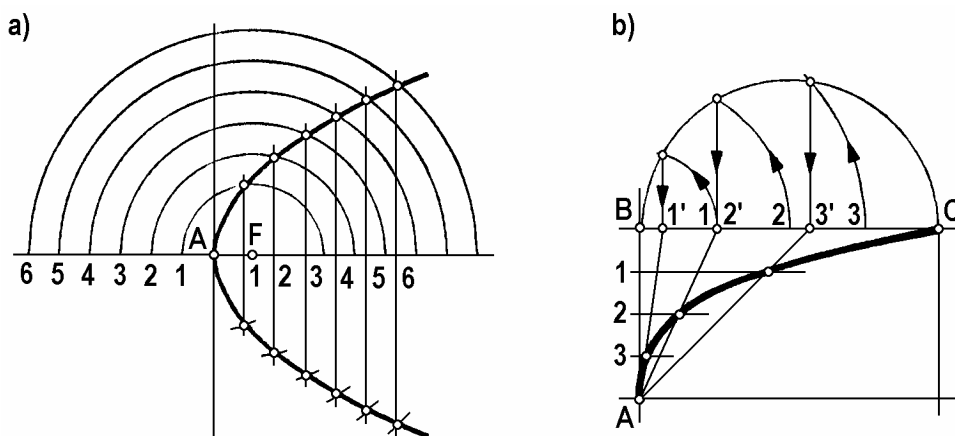
Konstruiranje parabole, ako je zadana os simetrije parabole i žarišni parametar parabole p , započinje povlačenjem osi i nanošenjem parametra p od točke K

⁴ direktrise

($p = \overline{KF}$)(slika 5.41.). Kroz točku K, okomito na os parabole, povući ravnalicu. Duljinu \overline{KF} prepoloviti i odrediti točku O (tjeme parabole). Na osi parabole odabrati točke od 1 do 5, čija se međusobna udaljenost postupno povećava što je točka udaljenija od tjemena O. Kroz ove točke povući pomoćne pravce koji su okomiti na os parabole. Otvorima šestara, jednakim udaljenostima od pomoćnih pravaca do ravnalice, opisivati kružne lukove iz žarišta F do presjeka s pomoćnim pravcima. Presječne točke A_1 do E_1 , odnosno A_2 do E_2 predstavljaju točke parabole. Na primjer, točka D_1 (D_2) dobije se na taj način da se iz žarišta F opiše kružni luk polumjera R_1 do presjeka s pomoćnim pravcem povučenim kroz točku 4 na osi parabole. U točki C_1 dan je primjer konstruiranja tangente t na parabolu i okomice n na tangentu t (slika 5.41).



Slika 5.41. Konstrukcija parabole ako je zadana os parabole i žarišni parametar parabole p

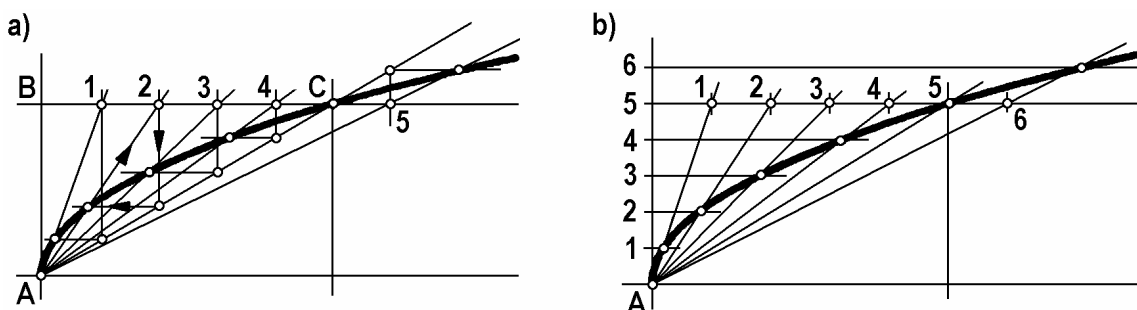


Slika 5.42. Konstruiranje parabole pomoću polukružnica i okomica na os parabole (a), te konstruiranje kubne parabole (b)

Konstrukcija parabole pomoću polukružnica i okomica na os simetrije parabole prikazana je na slici 5.42.a. Iz žarišta F opisati polukružnice polumjera od

$\overline{F1}$ do $\overline{F6}$ (točke od 1 do 6 lijevo od tjemena A). Zatim na udaljenosti od $\overline{A1}$ do $\overline{A6}$ (točke od 1 do 6 desno od tjemena A) povući okomice do presjeka s polukružnicama. Presječne točke jesu točke parabole.

Kubna parabola (slika 5.42.b) konstruira se tako da se kroz tjeme A i zadanu točku C nacrtaju pravokutnik. Stranice pravokutnika \overline{AB} i \overline{BC} podijeliti na isti broj jednakih dijelova, a zatim opisati polukružnicu iznad stranice \overline{BC} . Opisivanjem kružnih lukova polumjera $\overline{B1}$, $\overline{B2}$ i $\overline{B3}$ (točke od 1 do 3 na stranici \overline{BC}) iz središta B te povlačenjem okomica iz presječnih točaka istih s polukružnicom promjera \overline{BC} dobit će se točke 1', 2' i 3'. Dobivene se točke spoje pravcima s tjemenom parabole A. Kroz točke od 1 do 3 (na stranici \overline{AB}) povući pomoćne pravce paralelne s osi simetrije parabole. Presjek pomoćnih pravaca i pravaca povučenih iz tjemena A odredit će točke kubne parabole.



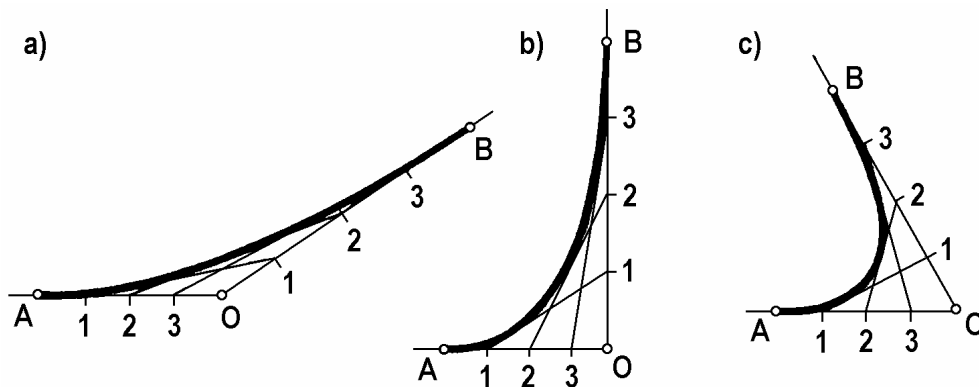
Slika 5.43. Konstruiranje parabole ako je poznato tjeme i jedna točka parabole (a) te konstruiranje parabole primjenom načela razmjernosti (b)

Konstrukcija parabole, za slučaj kada je poznato tjeme parabole A i jedna točka C na paraboli, prikazana je na slici 5.43.a. Iz točke C povući pravac paralelan s osi simetrije parabole te okomicu na os kroz tjeme A. Zatim se kroz točke A i C povuče pravac, čiji odsječak predstavlja hipotenuzu \overline{AC} pravokutnog trokuta ABC. Iz tjemena A povuci niz kosih pravaca do presjeka s pravcem čiji je odsječak stranica \overline{W} . Na taj su način definirane presječne točke od 1 do 5, iz kojih se sada mogu povući pravci paralelni sa stranicom \overline{BC} do presjeka s pravcem kroz A i C (referentni pravac). Točke parabole dobiju se kao presjek pravaca paralelnih s osi parabole (povučenih od referentnog pravca) i kosih pravaca prije povučenih iz tjemena A.

Načelo razmjernosti također se može iskoristiti za konstruiranje parabole (slika 5.43.b). Kroz zadane točke A i 5 nacrtati paralelogram, a zatim na okomici iz A i paraleli (s osi parabole) kroz 5 definirati isti broj jednakih dijelova. Spajanjem točaka od 1 do 6 (na paraleli) s tjemenom A i povlačenjem paralela kroz točke od 1 do 6 (na okomici) odredit će se presječne točke koje su istodobno i točke parabole.

U slučaju da su zadane dvije tangente, u točkama A i B parabole, treba udaljenost tih točaka od presjeka O podijeliti na isti broj jednakih dijelova te odgovarajuće diobene točke spojiti pravcima. Potom krivuljarom spojiti točke A i

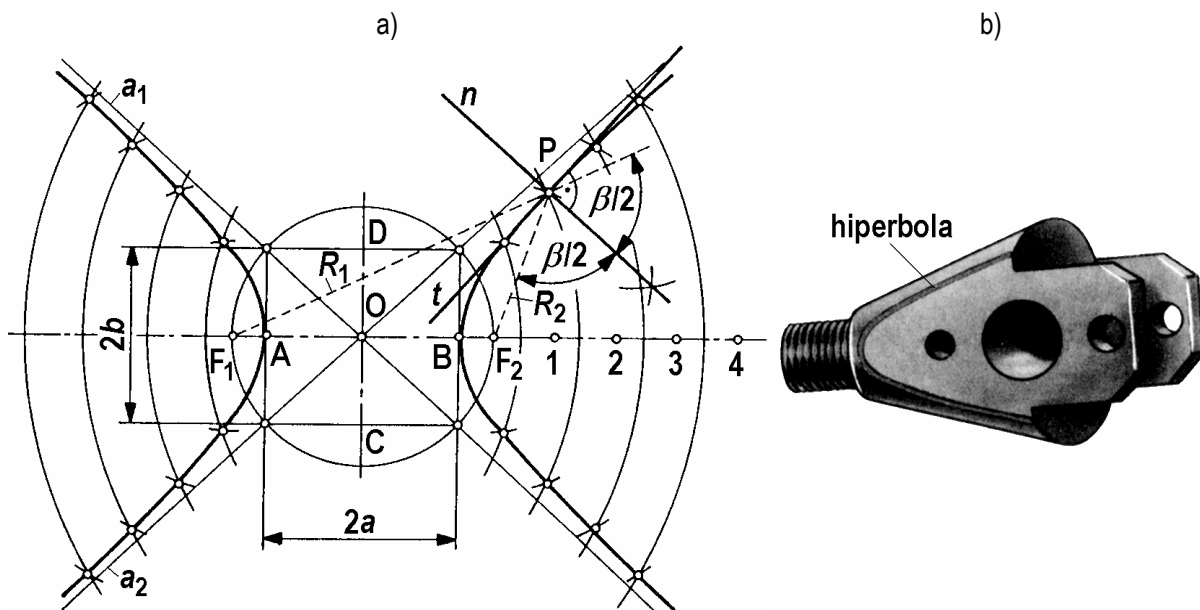
B tako da krivulja dodiruje sve spojne pravce (slika 5.44.a, b i c).



Slika 5.44. Konstruiranje parabole ako su zadane dvije tangente

Hiperbola je ravninska krivulja čije je svojstvo da je razlika udaljenosti bilo koje njezine točke P od dviju zadanih točaka (žarišta) F_1 i F_2 konstantna veličina $R_1 - R_2 = 2a = \overline{AB}$ (slika 5.45.).

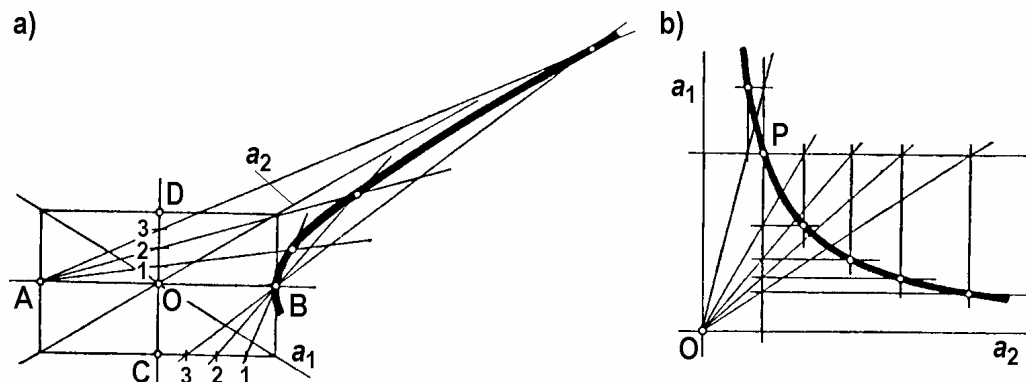
Točke za koje je $R_1 - R_2 = 2a$ pripadaju desnoj grani hiperbole, a točke za koje je $R_2 - R_1 = 2a$ pripadaju lijevoj grani hiperbole (slika 5.45.a) [13]. R_1 i R_2 žarišni su radijvektori bilo koje točke P hiperbole.



Slika 5.45. Konstrukcija hiperbole slijedom definicije (a) i praktični primjer primjene hiperbole (b)

Koristeći se svojstvom iz definicije, hiperbola se može konstruirati na način prikazan na slici 5.45.a. Povuci vodoravnu i vertikalnu os hiperbole te od središta O ulijevo i desno nanijeti jednako udaljena tjemena A i B, odnosno žarišta F_1 i F_2 . Zatim iz središta O opisati kružnicu polumjera $\overline{OF_1} = \overline{OF_2}$ i definirati presječne

točke okomice u A i B (na vodoravnoj osi hiperbole) s opisanom kružnicom. Pravci a_1 i a_2 , povučeni kroz presječne točke i središte O, predstavljaju asimptote hiperbole kojima se grane hiperbole neograničeno približavaju pri udaljavanju u beskonačnost. Točke hiperbole dobiju se kao presjek kružnih lukova polumjera $\overline{A1}$, $\overline{A2}$, ... – opisanih iz točke F_1 (odnosno F_2) s kružnim lukovima polumjera $\overline{B1}$, $\overline{B2}$, ... – opisanih iz točke F_2 (odnosno F_1). U točki P dan je primjer konstruiranja tangente t na hiperbolu i okomice n na tangentu t (slika 5.45.a). Primjer praktične primjene hiperbole prikazan je na slici 5.45.b.



Slika 5.46. Konstruiranje hiperbole primjenom načela razmjernosti (a) i konstruiranje hiperbole ako su poznate asimptote i jedna točka hiperbole (b)

Načelo razmjernosti može se iskoristiti i kod konstruiranja hiperbole (slika 5.46.a). Oko velike i male osi hiperbole nacrtat se pravokutnik, koji istodobno definira asimptote a_1 i a_2 . Polovinu male poluosi \overline{DO} podijeliti na isti broj jednakih dijelova. Isto učiniti s desnom polovinom donje veće stranice pravokutnika. Iz tjemena A, kroz točke od 1 do 3 (na poluosi \overline{DO}), povući niz kosih pravaca. Zatim iz točaka od 1 do 3 (na donjoj desnoj polovini veće stranice pravokutnika), kroz tjeme B, povući niz pravaca do presjeka s kosim pravcima povučenim iz tjemena A. Presječne točke ovih pravaca jesu točke tražene hiperbole.

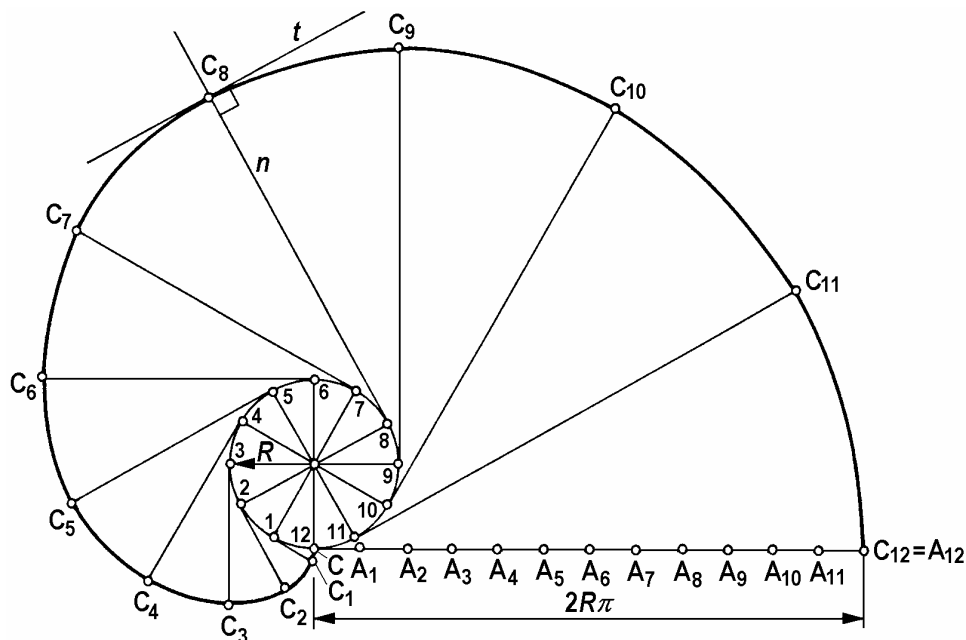
U slučaju kada su zadane asimptote (a_1 i a_2) i jedna točka hiperbole P (slika 5.46.b), hiperbola se konstruira tako da se prvo kroz točku P povuku paralelni pravci s asimptotama, a zatim se iz središta O povlači niz kosih pravaca koji sijeku pravce povučene kroz točku P. Ako se sada iz presječnih točaka povlače pravci paralelni asimptotama u presjeku istih, naći će se točke tražene hiperbole.

Hiperbola čije se asimptote sijeku pod pravim kutom zove se ravnostrana hiperbola.

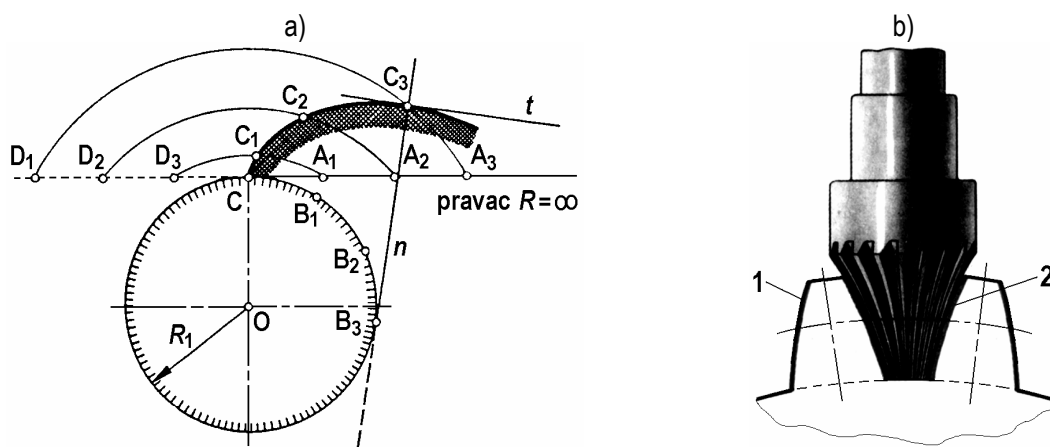
5.19.3. Crtanje cikličkih krivulja (ruleta)

U strojarstvu se često upotrebljavaju i krivulje koje se zovu cikličke krivulje ili rulete. U ovu skupinu krivulja spadaju npr. evolventa, cikloida (ortocikloida), epicikloida, hipocikloida itd.

Evolventa kružnice nastaje kada se oko nepomične kružnice valja pravac.⁵ Svaka točka valjnog pravca⁶ koji se valja bez klizanja po obodu kružnice⁶ polumjera R (slika 5.47.) odnosno R_1 (slika 5.48.) opisuje evolventu.



Slika 5.47. Konstruiranje evolvente kružnice



Slika 5.48. Evolventa kružnice

Jedan je način konstruiranja evolvente kružnice prikazan na slici 5.47. Nepomičnu kružnicu polumjera R podijeliti na proizvoljan broj jednakih dijelova (npr. 12 dijelova), a zatim u diobenim točkama povući tangente na kružnicu. Na tangenti u posljednjoj (12.) točki nanijeti opseg kružnice $2R \cdot \pi$ i podijeliti ga na isti broj jednakih dijelova kao i kružnicu. Potom u otvor šestara uzeti duljine od $\overline{CA_1}$ do $\overline{CA_{12}}$ i prenijeti ih na odgovarajuće tangente od $1C_1$ do $12C_{12}$. Točke od

⁵ generatriše ili izvodnice

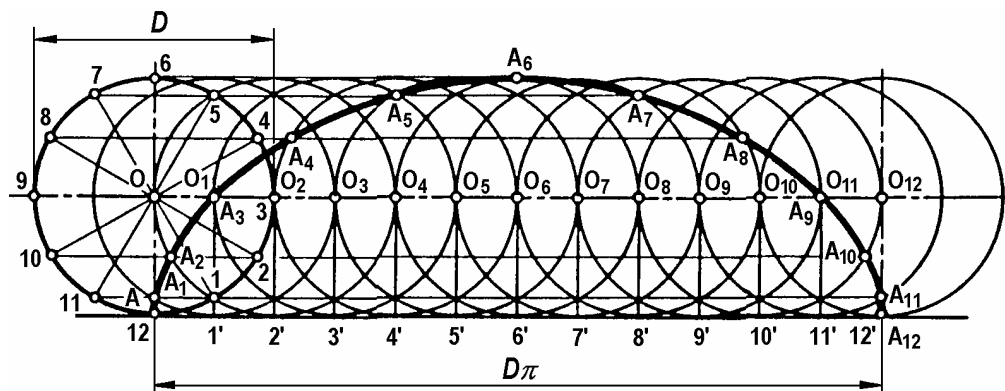
⁶ directrise ili ravnalice

C_1 do C_{12} jesu točke koje pripadaju evolventi kružnice.

S obzirom na to da se evolventa kružnice može dobiti odmatanjem napete niti s kružnice, evolventa se smatra tzv. krivuljom odmatanja.

Drugi je način konstruiranja evolvente kružnice prikazan na slici 5.48.a. Na nepomičnu kružnicu polumjera R_1 i valjni pravac nanijeti jednake duljine $\overline{CA_1} = \text{luk } CB_1$, $\overline{A_1A_2} = \text{luk } B_1B_2$ itd. Kroz točke A_1, A_2, A_3, \dots povlače se iz središta kružnice koncentrični kružni lukovi. Lukovima CA_1, CA_2, CA_3, \dots presijecaju se iz točaka B_1, B_2, B_3, \dots povučeni kružni lukovi kroz točke A_1, A_2, A_3, \dots . U presjecištu se dobivaju točke tzv. prave evolvente (slika 5.48.a). Primjer praktične primjene evolvente kružnice kod bokova zubi zupčanika (1) i profilnog glodala (2), koje se koristi za njihovu izradu, prikazan je na slici 5.48.b.

Cikloida ili ortocikloida je putanja⁷ točke A koja leži na kružnici promjera D , koja se valja bez klizanja po nepomičnom pravcu $\overline{AA_{12}}$ (slika 5.49.). Na vodoravnom nepomičnom pravcu odmjeriti duljinu koja odgovara opsegu kružnice promjera D ($D \cdot \pi$). Pomičnu kružnicu promjera D i duljinu $\overline{AA_{12}}$ podijeliti na proizvoljan broj jednakih dijelova (npr. 12). Iz diobenih točaka $1', 2', 3', \dots, 12'$ povući okomice do presjeka (s produljenom vodoravnom osi kružnice) u točkama od O_1 do O_{12} , a iz diobenih točaka na kružnici povući vodoravne pravce koji se presijecaju kružnicama polumjera $0,5 \cdot D$ opisanim iz točaka od O_1 do O_{12} . Dobivene točke od A_1 do A_{12} pripadaju cikloidi.

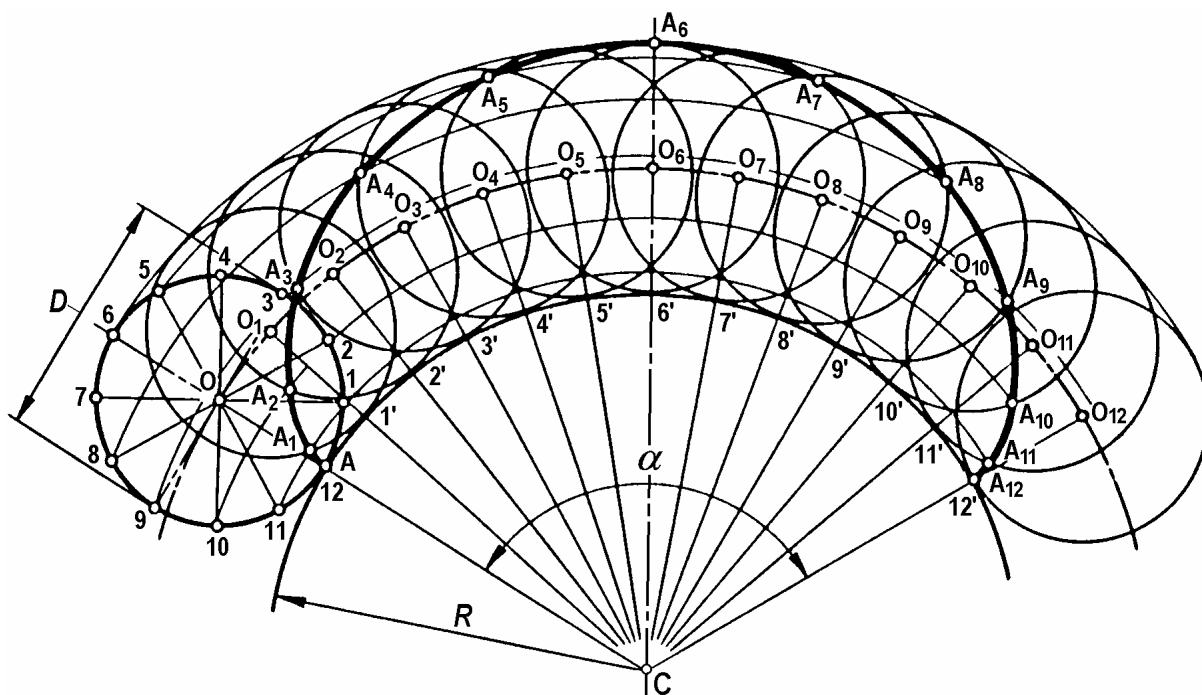


Slika 5.49. Konstruiranje cikloide ili ortocikloide

Ep cikloida je putanja točke A koja leži na kružnici promjera D , koja se valja bez klizanja po nepomičnoj kružnici polumjera R s njezine vanjske strane (slika 5.50.). Pomičnu kružnicu promjera D podijeliti na primjer na 12 jednakih dijelova. Iz središta C polumjerom, jednakim $R + 0,5 \cdot D$, opisati pomoćni kružni luk.

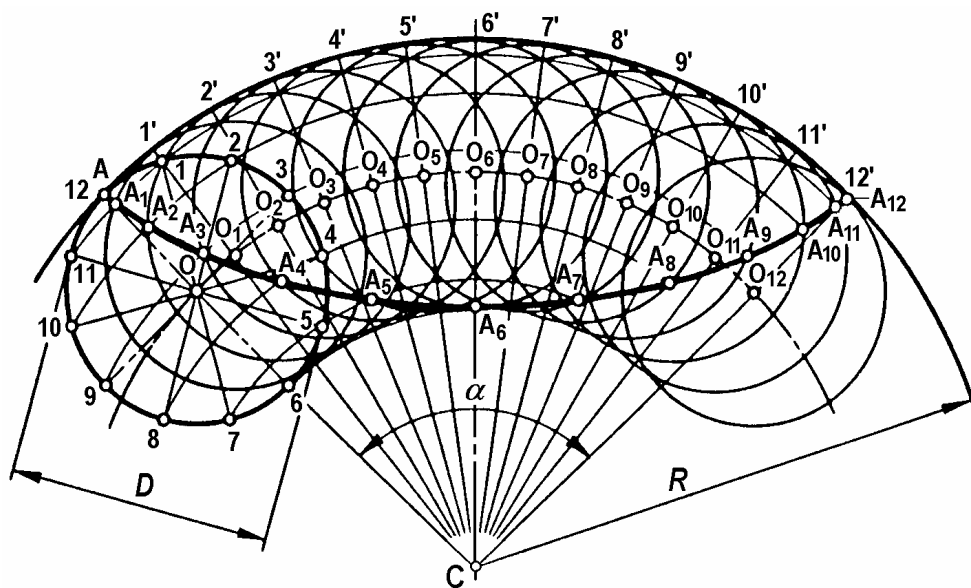
Središnji kut α određuje se prema sljedećem izrazu: $\alpha = 180^\circ \cdot \frac{D}{R}$.

⁷ trajektorija



Slika 5.50. Konstruiranje epicikloide

Podjelom kružnog luka mirujuće kružnice, ograničenog kutom α , na 12 jednakih dijelova dobit će se točke od 1' do 12'. Iz središta C kroz točke od 1' do 12' povući pravce koje treba produljiti do presjeka s pomoćnim kružnim lukom u točkama od O₁ do O₁₂. Zatim iz središta C povući pomoćne kružne lukove kroz diobene točke 1 do 12 na pomičnoj kružnici promjera D. Opisivanjem kružnica promjera D iz točaka od O₁ do O₁₂, do presjeka s pomoćnim kružnim lukovima, dobit će se točke od A₁ do A₁₂ koje pripadaju epicikloidi.

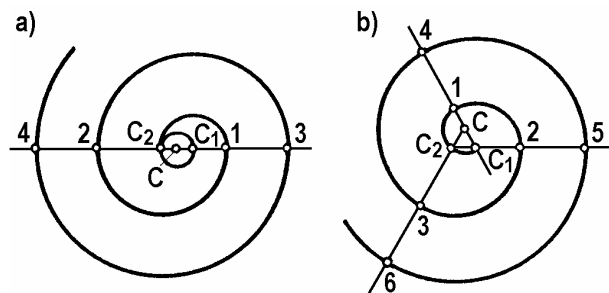


Slika 5.51. Konstruiranje hipocikloide

Hipocikloida je putanja točke A koja leži na kružnici promjera D , koja se valja bez klizanja po nepomičnoj kružnici polumjera R s unutarnje strane (slika 5.51.). Konstruiranje hipocikloide analogno je epicikloidi. Nepomičnu kružnicu polumjera R i pomičnu kružnicu promjera D nacrtati tako da se dodiruju u točki A. Kružni luk nepomične kružnice, ograničen kutom, podijeliti na 12 jednakih dijelova (na isti broj dijelova podijeliti i pomičnu kružnicu). Diobene točke kružnog luka nepomične kružnice spojiti s točkom C. U presjeku ovih spojnih pravaca s pomoćnom kružnicom polumjera $R - 0,5 \cdot D$ dobiju se točke od O_1 do O_{12} . Iz središta C kroz diobene točke pomične kružnice opisati pomoćne kružne lukove. Potom iz točaka od O_1 do O_{12} opisati kružnice polumjera $0,5 \cdot D$ do presjeka s pomoćnim kružnim lukovima u točkama od A_1 do A_{12} , koje pripadaju hipocikloidi.

5.19.4. Spirale

Konstruiranje spirale izvodi se iz dva, tri i više središta i ovisi o obliku i veličini tzv. "oka", koje može biti u obliku kružnice, trokuta, kvadrata, šesterokuta i slično. Najprije se nacrtava tzv. "oko", npr. kružnica promjera $\overline{C_1C_2}$ (slika 5.52.a). Iz točaka C_1 i C_2 opišu se dvije međusobno spojene polukružnice. Gornja polukružnica C_21 iz središta C_1 , a donja polukružnica 12 iz središta C_2 . Na slici 5.52.b "oko" ima oblik pravilnog (jednakokraknog) trokuta C_1C_2C . Stranice trokuta produlje se od sredine prema van. Rabeći tjemena trokuta za središta, opisati u smjeru kazaljke na satu niz međusobno spojenih kružnih lukova. Središte prvog kružnog luka jest točka C.



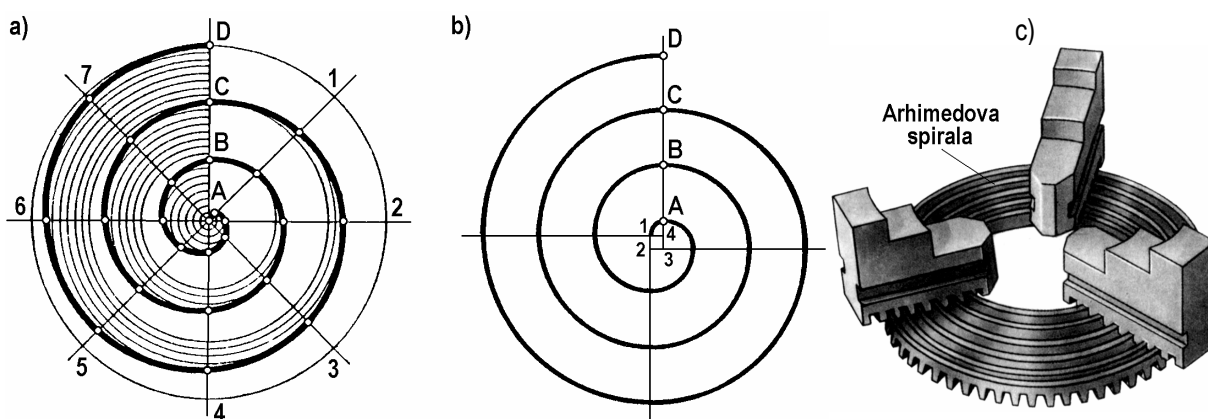
Slika 5.52. Konstruiranje spirale

Spirale također predstavljaju skupinu ravninskih krivulja koje imaju primjenu u strojarstvu. Najvažniji predstavnik ove vrste krivulja jest Arhimedova spirala (slika 5.53.), koju opisuje točka koja se giba konstantnom brzinom po pravcu koji se obrće oko središta A konstantnom kutnom brzinom (slika 5.53.a).

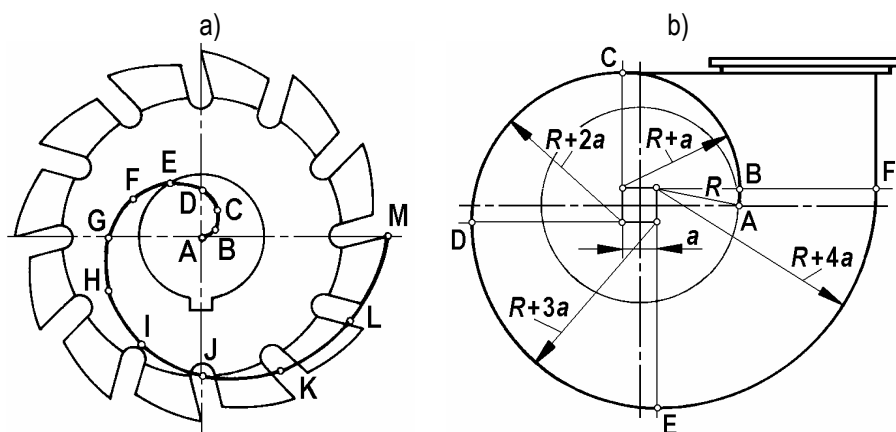
Arhimedova spirala može se konstruirati na različite načine. Jedan od načina jest taj da se nacrtava vanjska kružnica zavojnice i njezin polumjer podijeli na onoliko dijelova koliki je korak zavojnice (na slici 5.53.a korak je 3). Svaki tako dobiveni dio podijeliti ponovno na stanoviti broj dijelova. Isto učiniti i s osnovnom kružnicom (na slici 5.53.a obavljena je podjela na 8 jednakih dijelova), a zatim iz

središta A opisivati kružne lukove od diobenih točaka na polumjeru do odgovarajućih diobenih pravaca osnovne kružnice. Presječne točke jesu točke Arhimedove spirale.

U većini je slučajeva zadovoljavajuće spiralu konstruirati približno pomoću kružnih lukova (slika 5.53.b, odnosno slika 5.52.a i b). Na slici 5.53.b prikazan je približan način konstruiranja spirale, za koji je potrebno nacrtati mali kvadrat čija je stranica jednaka četvrtini udaljenosti dviju točaka na zavojnici koje su na istom pravcu (npr. $0,25 \cdot \overline{AB}$). U produžetku stranica kvadrata nacrtati pravce, a zatim iz npr. tjemena kvadrata 4 opisati četvrtinu kružnice polumjera jednakog stranici kvadrata. Premještanjem šestara u sljedeće tjeme (npr. tjeme 3) nastaviti započeti kružni luk. Postupak ponavljati do konačnog oblika željene zavojnice. Konstrukcija zavojnice bit će točnija ako se umjesto kvadrata uporabi pravilni mnogokut (poligon).



Slika 5.53. Konstruiranje pravilne (a), približne Arhimedove spirale (b) i primjer praktične primjene Arhimedove spirale (c)



Slika 5.54. Primjer praktične primjene Arhimedove spirale kod modulnog glodala (a) i statora centrifugalne sisaljke (Arhimedova spirala s četiri središta) (b)

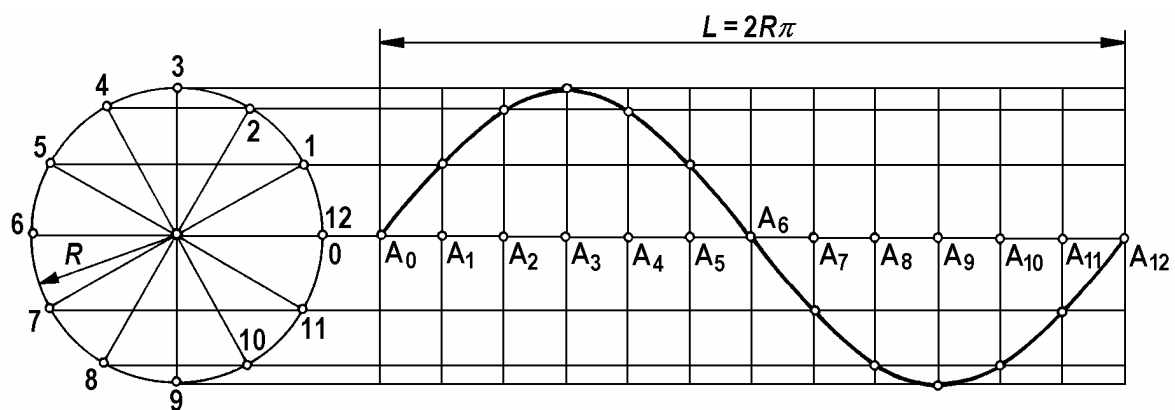
Na slici 5.53.c prikazan je primjer praktične primjene Arhimedove spirale kod stezne glave tokarilice, na slici 5.54.a prikazan je primjer praktične primjene Arhimedove spirale kod modulnog glodala, a na slici 5.54.b prikazan je primjer

praktične primjene Arhimedova spirala s četiri središta kod statora centrifugalne sisaljke.

Prema nekim autorima, i evolventa kružnice smatra se spiralom [13], međutim u ovom udžbeniku ona je tretirana kao ciklička krivulja. Postoje i neke druge spirale kao što su: hiperbolna, logaritamska i klotoida, međutim one se rjeđe susreću u strojarstvu.

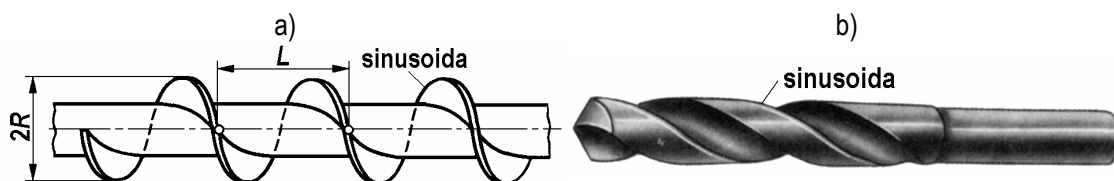
5.19.5. Trigonometrijske krivulje

Osim do sada opisanih krivulja, u strojarstvu se često koriste i trigonometrijske krivulje. Najčešće su u uporabi sinusoida i kosinusoida. To su valovite krivulje koje prikazuju oscilatorno gibanje točke. Takvo je npr. gibanje stapa u cilindru stapnog stroja, osciliranje njihala i slično.



Slika 5.55. Konstruiranje sinusoide

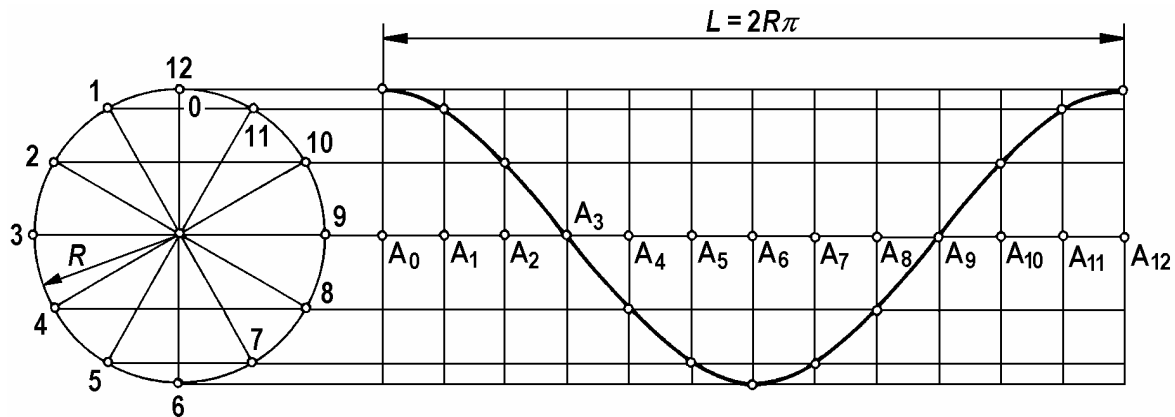
Konstruiranje sinusoide prikazano je na slici 5.55. Nacrtna kružnica proizvoljnog polumjera R podijeli se na proizvoljan broj jednakih dijelova (npr. 12). Zatim se opseg kružnice prenese u proizvoljnom mjerilu na vodoravnu os i podijeli na isti broj jednakih dijelova kao i kružnica. Diobene točke na kružnici označe se brojevima od 1 do 12 (0), a na odsječku L (na vodoravnoj osi) slovima od A_1 do A_{12} . Iz diobenih točaka na kružnici povući pravce paralelne s vodoravnom osi, a iz diobenih točaka na odsječku L povući okomice. Presjeci odgovarajućih okomica s odgovarajućim pravcima predstavljat će točke koje pripadaju sinusoidi. Primjer praktične primjene sinusoide dan je na slici 5.56.



Slika 5.56. Primjer praktične primjene sinusoide

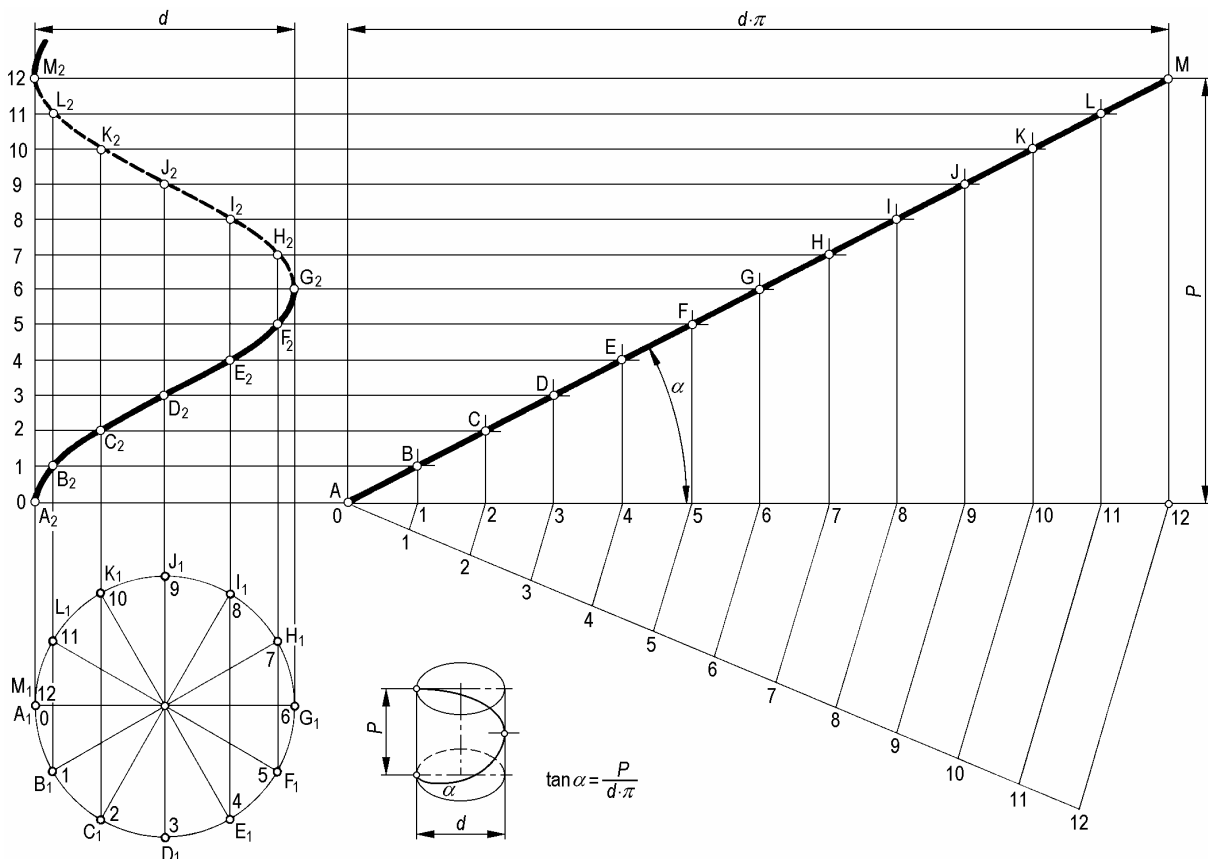
Konstruiranje kosinusoide potpuno je identično konstruiranju sinusoide, samo

je redoslijed obilježavanja diobenih točaka na kružnici drukčiji (slika 5.57.).



Slika 5.57. Konstruiranje kosinusoide

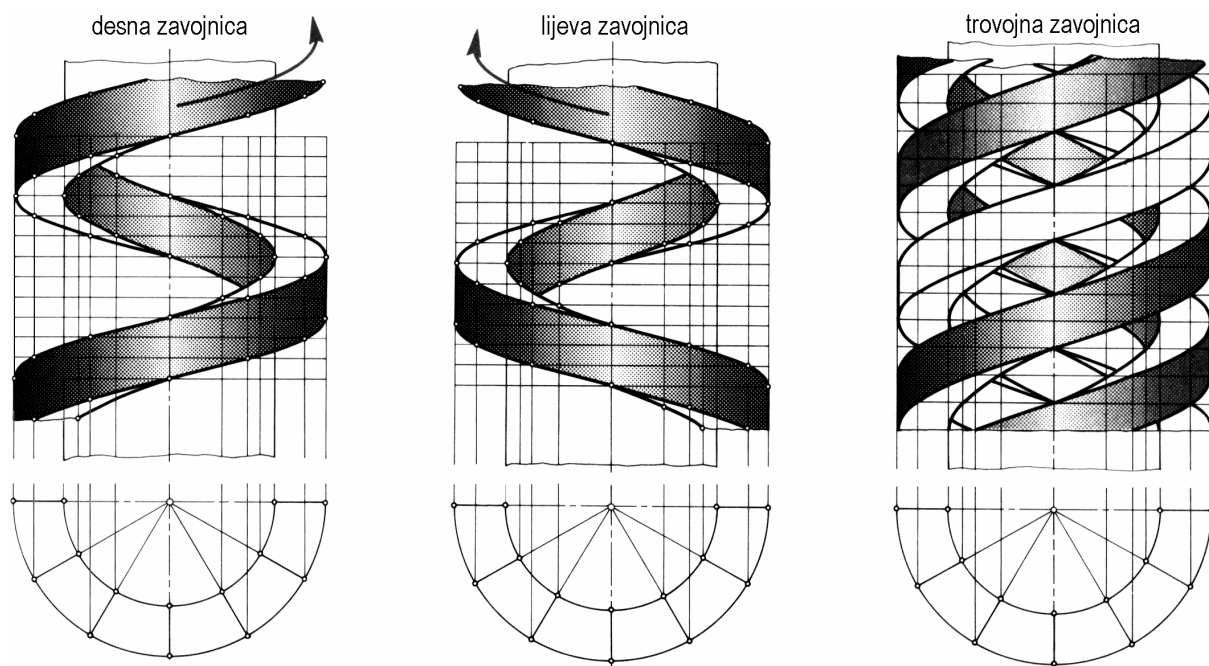
5.19.6. Zavojnice



Slika 5.58. Zavojnica

Zavojnica spada u skupinu prostornih krivulja, a opisuje je točka koja jednoliko rotira oko jedne osi i pri tome se giba stalnom brzinom paralelno s osi. Konstruiranje zavojnice provodi se pomoću kružnice promjera d (čiji se opseg razdjeli na jednak broj dijelova - npr. 12) i uspona zavojnice P (koji se također

razdijeli na jednak broj dijelova – npr. 12). Sjecišta vodoravnih crta i okomitih izvodnica označenih istim brojevima daju točke zavojnice.



Slika 5.59. Desna, lijeva i trojna desna zavojnica [10, 23]

Odmatanjem zavojnice dobije se pravokutni trokut čija je vodoravna kateta jednaka opsegu $d \cdot \pi$, a okomita kateta jednaka usponu zavojnice P . Ako je α kut uspona zavojnice hipotenuza trokuta je duljina zavojnice.

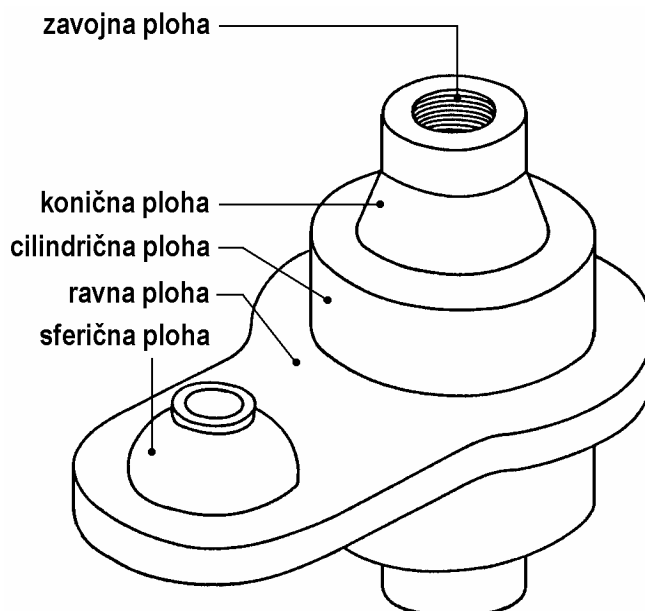
Na slici 5.59. prikazan je plosnati zavoje desne, lijeve i trojne desne zavojnice. Plosnati zavoje zavojnice nastaje ako se pravokutni profil zavojno giba oko kružnog valjka.

6. Predočavanje oblika s osnovama nacrtne geometrije

Presentation of Forms with Bases of Descriptive Geometry

6.1. Općenito o vrstama i značajkama projiciranja

Objekti (kao što su npr. postrojenja, strojevi, mehanizmi ili njihovi sastavni dijelovi) se mogu prikazivati crtanjem u ravnini. Pri crtanju se predmet prikazuje rukom na osnovi viđenog ili zamišljenog. Crtež prenosi oblik objekta ili njegovih sastavnih dijelova s iskrivljenjem orisa¹ i geometrijskih ploha koje ih oblikuju (slika 6.1.). Na osnovi takvog crteža teško se može dobiti točna predodžba o oblicima i izmjerama provrta i sastavnih dijelova nekog predmeta. Sve kružnice prikazuju se ovalima (ili elipsama). Stoga se ovakav način prijenosa oblika i izmjera upotrebljava u tehnici samo kao pomoćni (ili dopunski) prikaz.



Slika 6.1. Primjeri različitih iskrivljenih orisa i geometrijskih ploha koje oblikuju neki objekt

Za razliku od "slobodnog" crteža, u tehničkim crtežima oblik predmeta može se prikazati s više rezultata projiciranja² (projekcijama - pogledima, presjecima, detaljima). Pri tome svaka odvojena projekcija na crtežu predstavlja projicirani pogled na samo jednu stranu predmeta. Takav način prikazivanja pomaže da se točno ustanove oblik i izmjere budućeg izratka. Crteži moraju zadovoljiti osnovne metode projiciranja i niz posebnih pravila specifičnih za tehničko crtanje.

Sposobnost prikazivanja prostornih oblika u ravnini razmatra se i izučava u predmetu koji se zove nacrtne geometrije. Na osnovama nacrtne geometrije počiva projekcijsko crtanje, koje je osnova tehničkog crtanja ne samo u strojarstvu. U

¹ kontura (*franc.* contour), obris, ocrta, skica ili grafički prikaz obrisa nekog objekta ili predmeta [25]

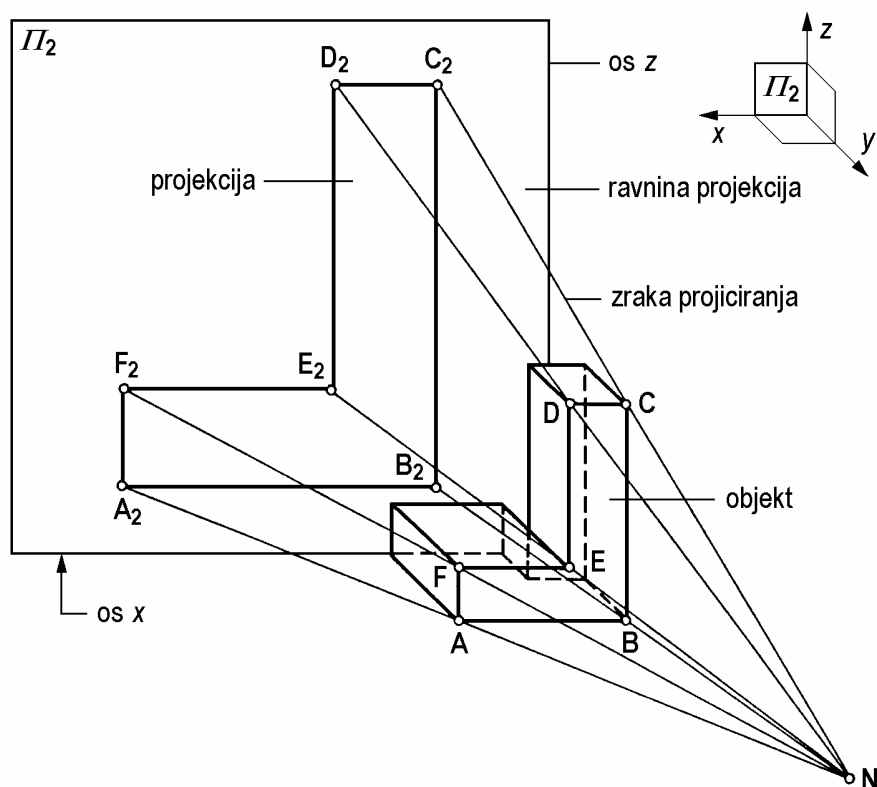
² latinski *projicere*, što znači "baciti na"

projekcijskom crtanju izučavaju se praktične metode prikazivanja geometrijskih tijela i njihovih spajanja.

Bilo koji složeni oblik strojnog dijela moguće je prikazati kao sklop jednostavnih geometrijskih tijela ili njihovih dijelova. Površine strojnih dijelova predstavljaju same za sebe ravnine i plohe, najčešće rotacijske plohe (valjkaste ili cilindrične, stožaste ili konične, kuglaste ili sferične, torusne, zavojne). Primjer sferičnog dijela, ograničenog takvim jednostavnim geometrijskim ploham, prikazan je na slici 6.1.

Prikaz predmeta smještenog u prostoru, dobiven pomoću ravnih crta – zraka projiciranja, koje su povučene kroz svaku karakterističnu točku predmeta do presjeka s ravinom projekcija na koju se projicira, naziva se projekcija promatranog predmeta na ovu ravinu. Projiciranje može biti središnje (centralno) ili paralelno (usporedno) [24].

Središnja projekcija. Ako sve zrake projiciranja izlaze iz jedne točke (središta) N , prikaz koji se dobije na ravnini projekcija Π_2 predstavlja središnju projekciju (slika 6.2.). Kao rezultat, dobije se prikaz predmeta koji se naziva njegovom projekcijom. Ovaj prikaz uvećan je (izmjere prikaza ne podudaraju se s izmjerama predmeta) i daje predodžbu samo o obliku predmeta, a ne i o njegovim izmjerama. Središnje projiciranje uz dopunske uvjete naziva se *perspektiva*³.



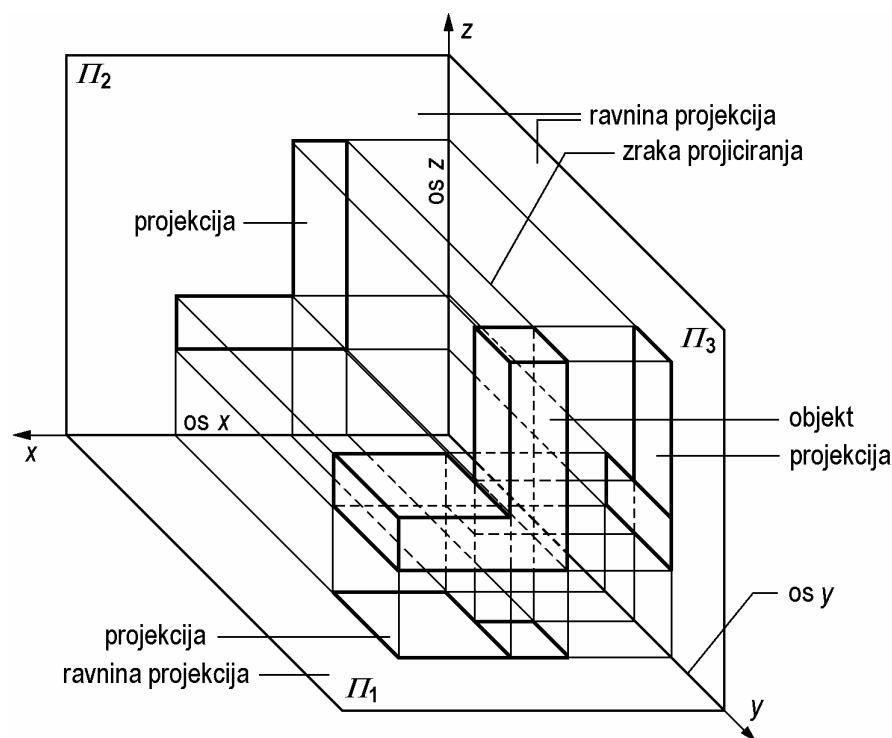
Slika 6.2. Središnja (centralna) projekcija

³ latinski perspicere, što znači "gledati kroz nešto"

Paralelno se projiciranje može podijeliti na:

- ortogonalno (normalno) - zrake projiciranja okomite su na ravninu projekcija
- koso (klinogonarno) - zrake projiciranja kose su prema ravnini projekcija
- aksonometrijsko – zrake projiciranja su paralelni pravci koji se udaljavaju od oka promatrača i ne sastaju se u jednoj točki, što znatno olakšava crtanje (u usporedbi npr. s perspektivom).

Ortogonalno (normalno) projiciranje. Kod ove vrste projiciranja središte projiciranja N udaljeno je neizmjereno daleko od ravnine projiciranja, a zrake projiciranja međusobno su paralelne (usporedne). Kut između njih i ravnine projiciranja je pravi kut (odatle i naziv *ortogonalno*, odnosno *normalno* ili *pravokutno projiciranje*).



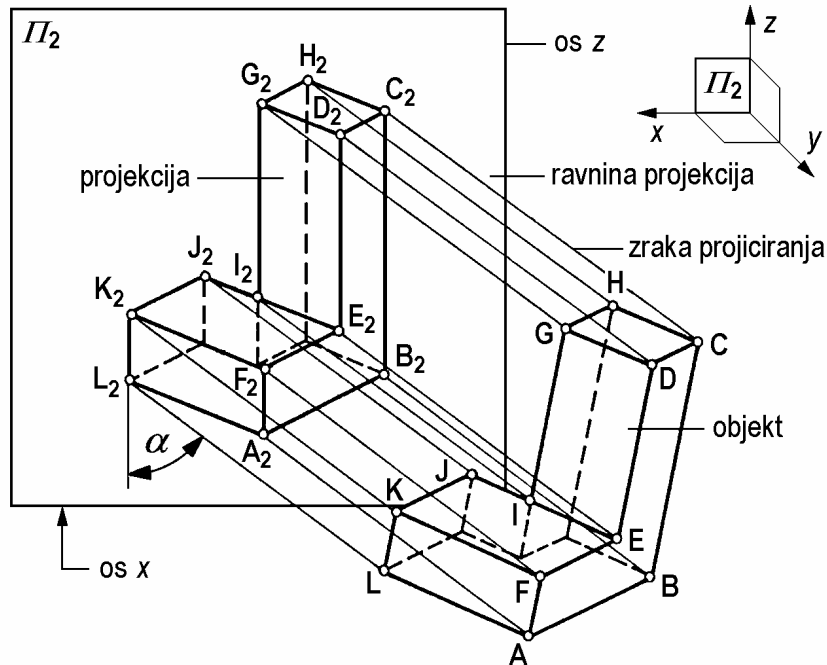
Slika 6.3. Ortogonalna (normalna) projekcija

Kod radioničkih crteža upotrebljava se ortogonalno projiciranje, odnosno predmet se postavlja ispred ravnine tako da je većina njegovih bridova i ravnih ploha paralelna toj ravnini (slika 6.3.). Tada će ovi rubovi i plohe biti prikazani na ravnini u pravoj veličini i naravnom obliku.

Prikaz u jednoj ravnini ne daje predodžbu o obliku predmeta, pa se stoga predmet ortogonalno projicira ne na jednu, nego na dvije (ravnine Π_1 i Π_2) ili tri (ravnine Π_1 , Π_2 i Π_3) međusobno okomite ravnine (slika 6.3.). Na osnovi takvog prikaza moguće je dobiti točnu predodžbu o obliku i izmjerama promatranog predmeta.

Koso (klinogonarno) projiciranje. Kosa projekcija dobiva se ako je točka iz koje izlaze zrake (središte projekcije) zamišljena kao neizmjereno udaljena od ravnine

projiciranja. Kod kosog projiciranja predmet može zauzeti bilo koji položaj s obzirom na ravninu projekcija Π_2 , ali zrake projiciranja povlače se paralelno jedna drugoj, pod određenim kutom α prema ravnini projekcija (slika 6.4.).



Slika 6.4. Kosa (klinogonalna) projekcija

Kosa projekcija daje prepoznatljiv, ali iskrivljen prikaz predmeta: pravi kutovi pretvaraju se u oštre i tupe, kružnice u elipse itd. U strojarstvu se kosa projekcija upotrebljava samo u onim slučajevima kada treba dopuniti neki drugi prikaz predmeta (npr. ortogonalnu projekciju).

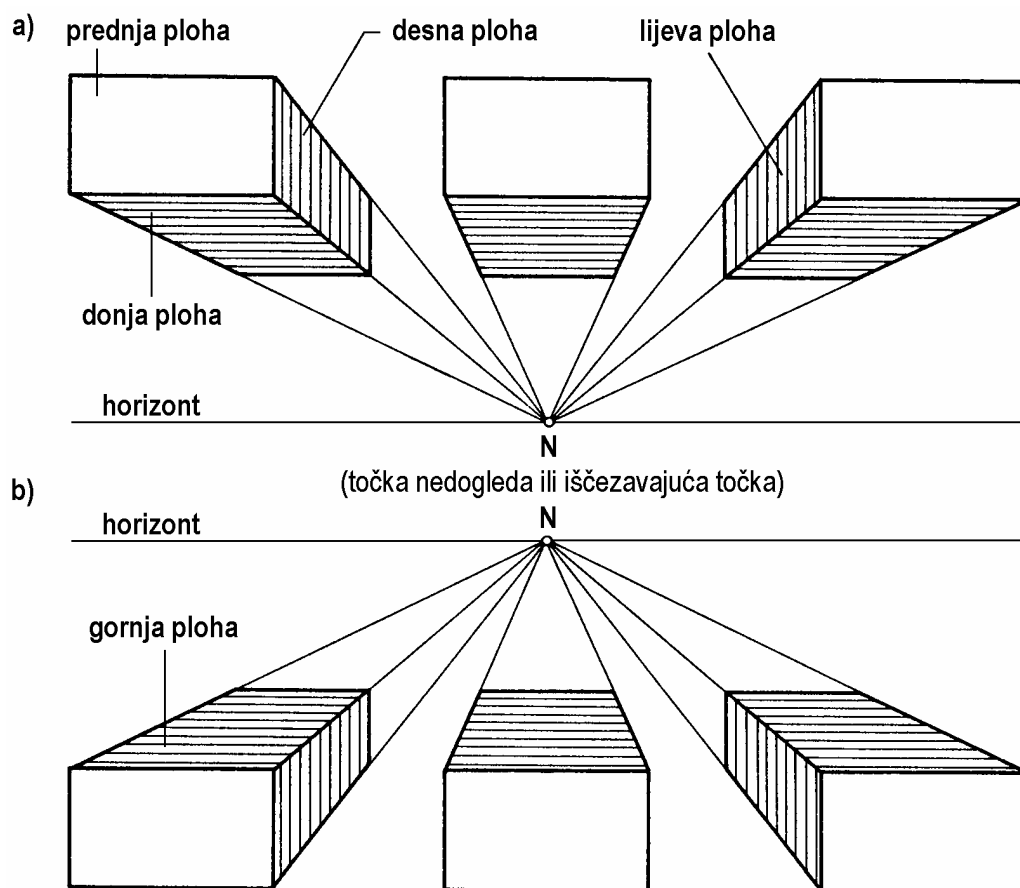
6.2. Perspektiva

Najvjerniju sliku predmeta u usporedbi s naravnom daje perspektiva ili perspektivna slika. Perspektiva prikazuje predmet ili objekt točno onako kako bi ga vidjelo ljudsko oko i najbližija je njihovim fotografijama. Ako se promatraju duge ravne željezničke tračnice, stječe se dojam da se one približavaju i da se konačno sastaju u jednom središtu (točka nedogleda ili iščezavajuća točka), iako je poznato da je razmak između tračnica konstantan.

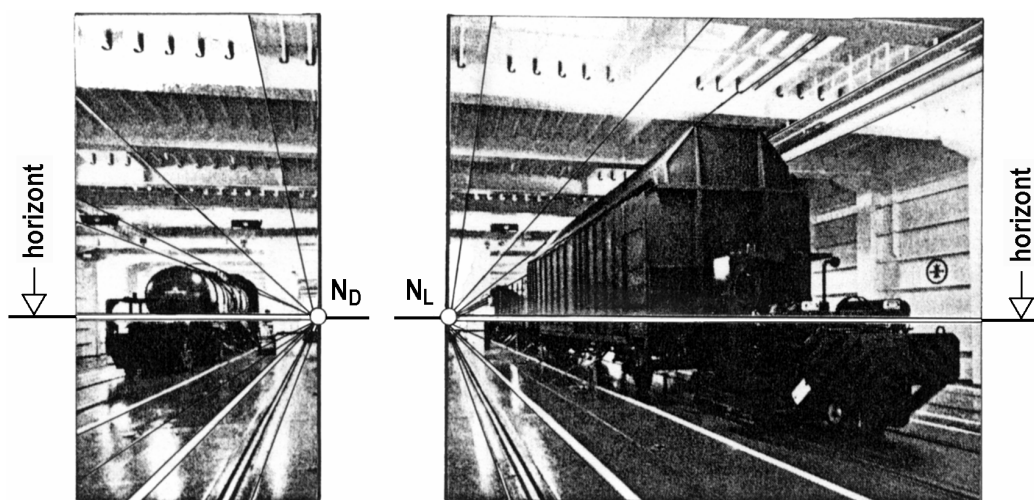
U zavisnosti od položaja ljudskog oka u perspektivi se mogu vidjeti samo jedna, dvije ili tri strane promatranog predmeta ili objekta. Poistovjeti li se položaj ljudskog oka s tzv. točkom nedogleda N, perspektiva s jednim nedogledom omogućava tri slučaja vidljivosti ploha, što ovisi o tome je li je točka nedogleda ispod (slika 6.5.a) ili iznad (slika 6.5.b) promatranog objekta. Horizont je slika neizmjerne dalekog pravca. Ovaj način prikazivanja naziva se i središnja

perspektiva, frontalna ili obična perspektiva. Sposobnost perspektivnog prikaza temelji se na metodi središnjeg projiciranja.

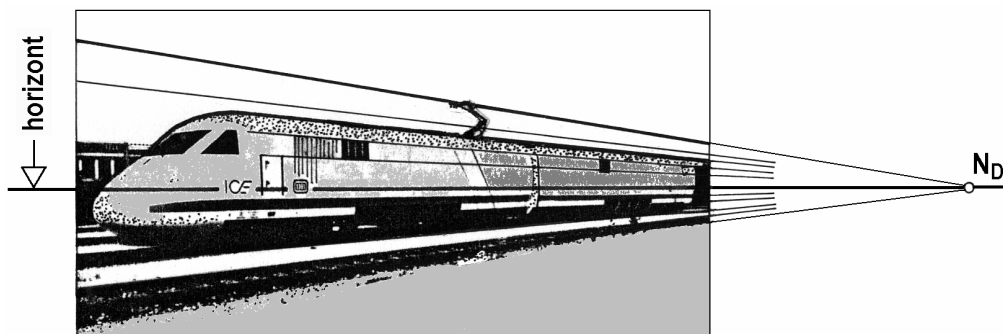
Na slikama 6.6., 6.7. i 6.8. dani su primjeri središnje perspektive s jednim nedogledom (desnim N_D ili lijevim N_L).



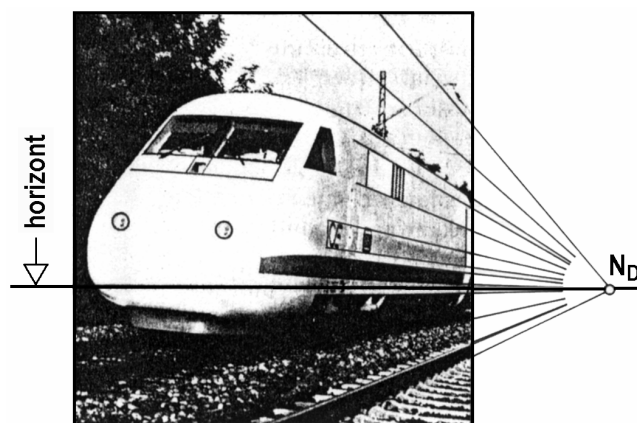
Slika 6.5. Perspektiva s jednim nedogledom



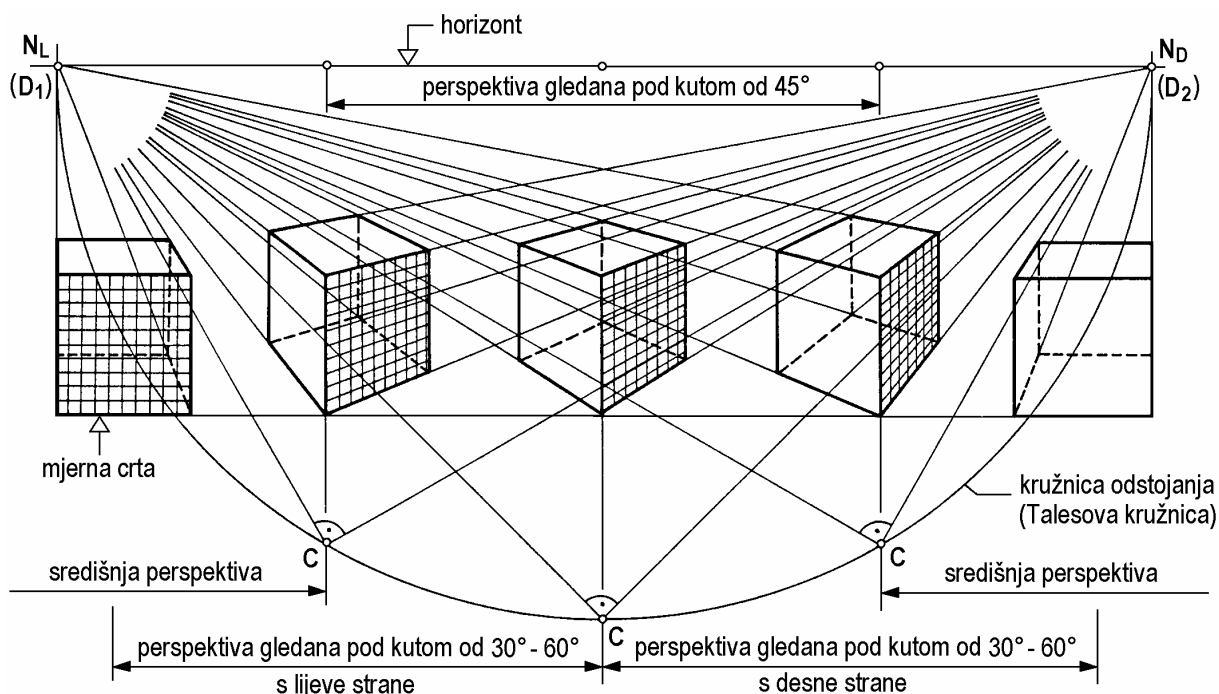
Slika 6.6. Primjer središnje perspektive s jednim nedogledom



Slika 6.7. Primjer središnje perspektive s jednim nedogledom



Slika 6.8. Primjer središnje perspektive s jednim nedogledom



Slika 6.9. Kocka u karakterističnim položajima u kosoj perspektivi

Češće se primjenjuje tzv. kosa perspektiva, kod koje se predmet ili objekt promatra pod stanovitim kutom u odnosu na njegovu prednju (frontalnu) plohu.

Ova perspektiva poznata je i kao perspektiva s dva nedogleda (lijevim N_L i desnim N_D nedogledom). Slika 6.9. prikazuje kocku u karakterističnim položajima u kosoj perspektivi. Na slici 6.9. konstruirana je kružnica razmaka ili distancije (tzv. Talesova⁴ kružnica) i kotirane su vrijednosti koje je poželjno uvažiti pri crtanju perspektive, ovisno o zahtjevu želi li se istaknuti osnovni plan sprijeda, desno, podjednako lijevo i desno ili lijevo. Točke D_1 i D_2 su vodoravne odmične ili distancijske točke.

Kod perspektive s dva nedogleda vodoravne paralelne linije frontalne plohe predmeta ili objekta sastaju se u lijevom nedogledu N_L , a iste takve linije bočne plohe u desnom nedogledu N_D . Obje ove točke nalaze se u visini oka na jednoj vodoravnoj liniji (horizont)(slike 6.9. i 6.10.).

Kod kose perspektive samo se jedan brid može nacrtati u pravoj veličini, dok su svi ostali obično skraćeni. Dvije jednake duljine na različitoj udaljenosti od oka ovdje su nejednake, paralelni pravci postaju neparalelni, kvadrat postaje trapez ili trapezoid, kružnica postaje elipsa ili oval itd.

U arhitekturi se ponekad primjenjuje i prikaz građevina u perspektivi s tri točke nedogleda. Pri tome se razlikuje tzv. "žablja perspektiva" (slika 6.11.) i tzv. "ptičja perspektiva" (slika 6.12.).

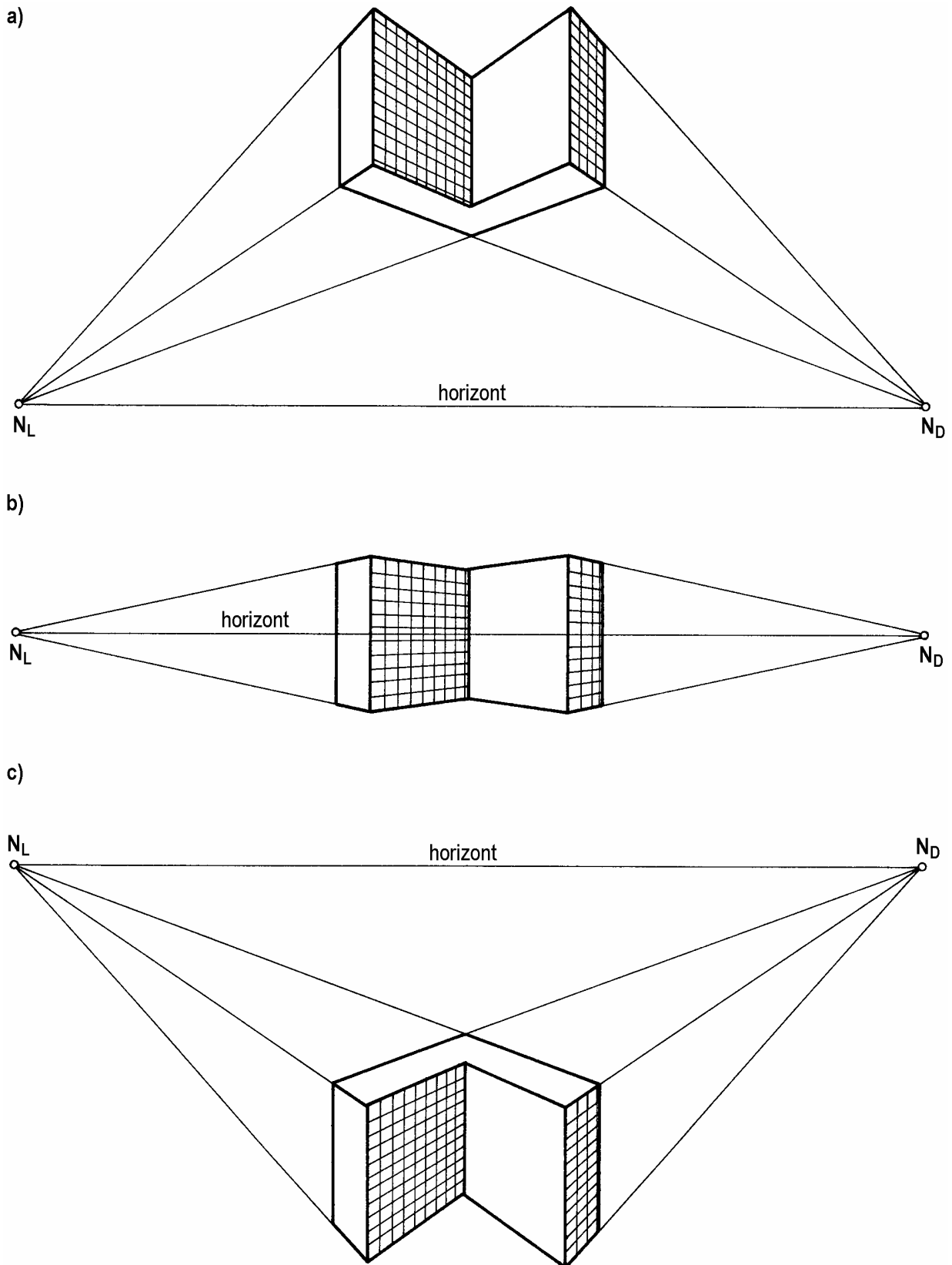
Na slici 6.11. dan je prikaz relativno visoke građevine, onako kako bi je vidio čovjek npr. s prozora četvrtog kata neke druge građevine. Točka N_g predstavlja gornji nedogled ili prvu okomitu odmičnu točku.

Na slici 6.12 dan je prikaz relativno visoke i vitke građevine, onako kako bi je vidio čovjek iz zraka, npr. iz helikoptera. Točka N_d predstavlja donji nedogled ili drugu okomitu odmičnu točku.

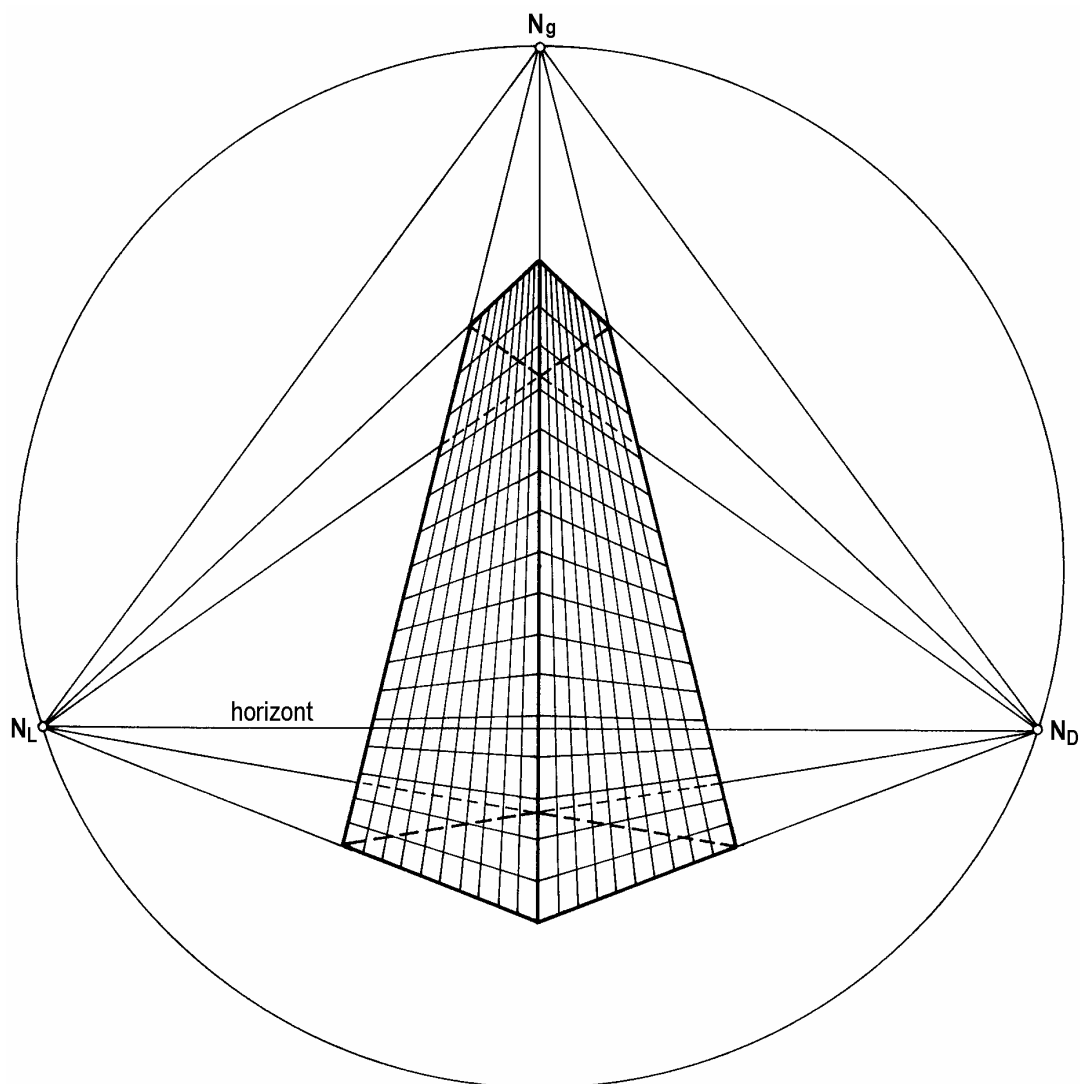
Sve do sada rečeno o perspektivi odnosi se na tzv. linearnu perspektivu, tj. na sliku koja nastaje kao da čovjek gleda jednim okom - slično objektivu fotoaparata ili filmske kamere. Problem stereooptičkog vida (dva oka - binokularno vidno polje) proučava optičko-fiziološka perspektiva.

Tradicionalne metode crtanja slika u perspektivi vrlo su složene, zahtijevaju dugotrajan proces konstruiranja pri čemu se lako načini pogreška. Crtanje u perspektivi znatno je olakšano uporabom specijalnih tiskanih mreža (karata) koje se sastoje od niza crta iscrtanih u perspektivi jednom ili dvjema točkama nedogleda [10], odnosno trima točkama nedogleda [10]. Ovakvim kartama ili mrežama osobito se koriste dizajneri, a ponekad i arhitekti. Osim karata postoje i dijapozitivi crta u perspektivi, koje se pomoću projekcijskog uređaja projiciraju okomito na ravninu crtanja, pa je potrebno samo podebljati konture predmeta ili objekta koji je prethodno preliminarno skiciran u obliku grubog crteža u odabranoj proporciji ili mjerilu.

⁴ Tal ili Tales iz Mileta starogrčki je filozof iz druge polovine 7. stoljeća pr. n. e. i jedan od "sedam mudraca" starog svijeta, odnosno najstariji europski filozof (poznat i po tvrdnji "osnovni uzrok svega što postoji jest voda")[25].

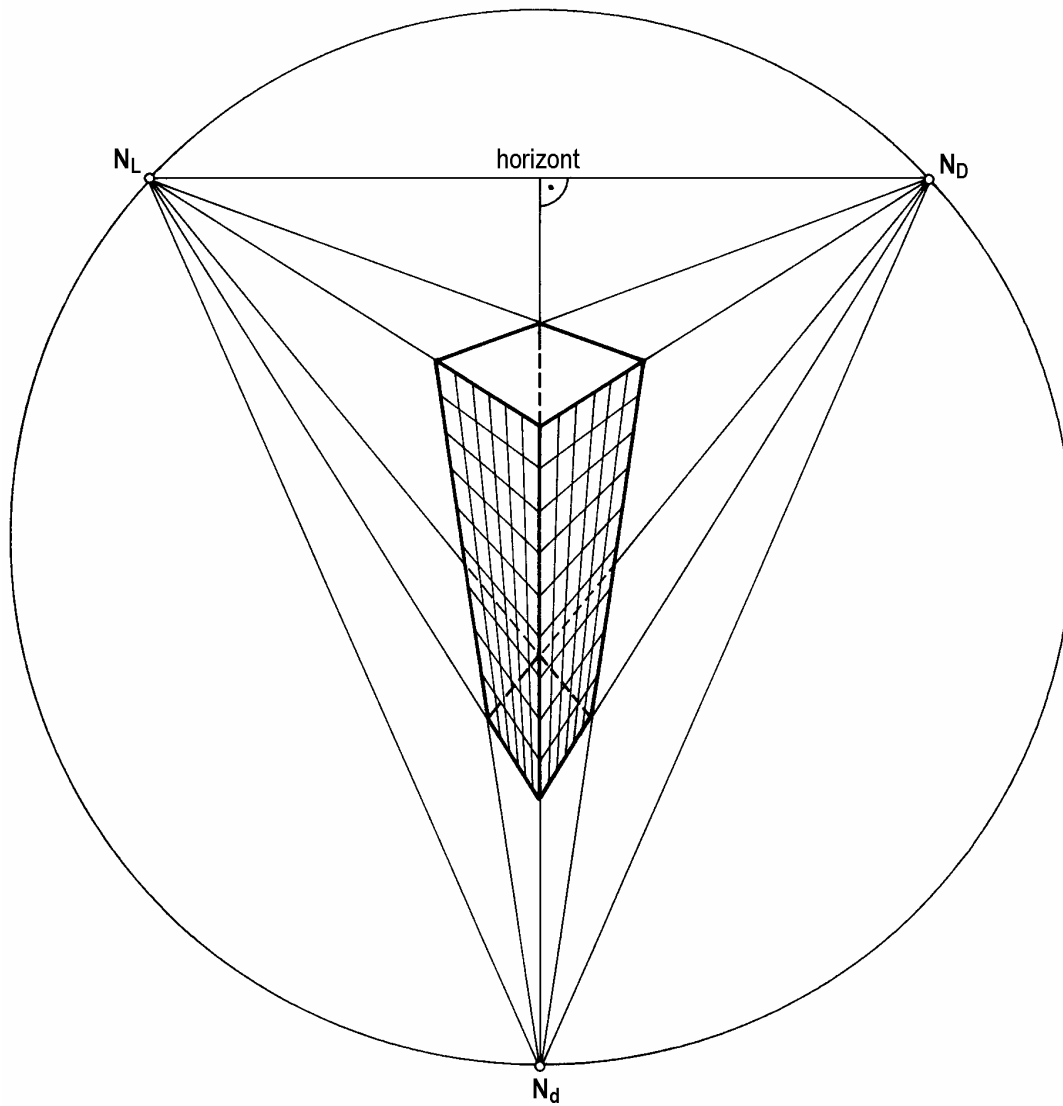


Slika 6.10. Objekt u perspektivi s dva nedogleda (a – s horizontom ispod objekta, b – s horizontom koji presjeca objekt i c – s horizontom iznad objekta)

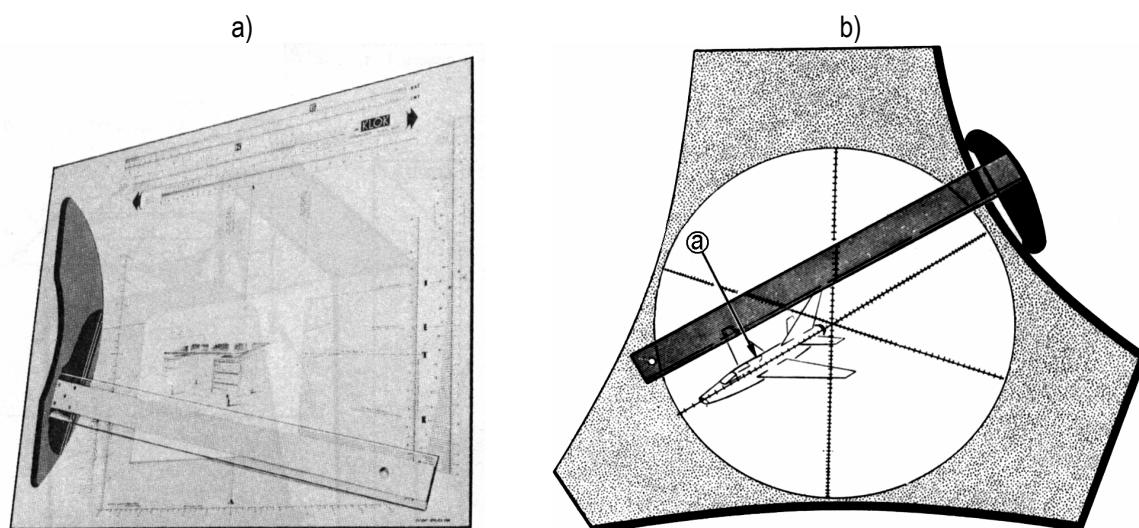


Slika 6.11. Perspektiva s tri točke nedogleda, tzv. "žablja perspektiva"

Ovako pojednostavnjen način prikazivanja koristan je, kako u edukaciji nastavnika, studenata i učenika, tako i u praksi konstruktora, dizajnera, slikara, grafičara, modnih crtača, tehničkih crtača i svih ostalih koji primjenjuju i linearno-matematičku i slobodnu perspektivu. On pomaže razvoju vještine prostoručnog skiciranja, tj. crtanja perspektive, odnosno eliminiranju veće potencijalne pogreške. Na taj način mogu se rješavati bezbrojni slučajevi prostornih predodžbi, što je posebno važno za dizajnere kojima nisu zanimljivi presjeci i pogledi kao iluzija trodimenzionalnosti objekata. Primjena tako pojednostavnjenog načina prikazivanja trodimenzijskih objekata u perspektivi omogućava optimalnu vezu između čovjeka, objekta predloženog ortogonalnim (pravokutnim) projekcijama i njegove slike, tj. perspektive odnosno prostorne predodžbe.



Slika 6.12. Perspektiva s tri točke nedogleda, tzv. "ptičja perspektiva"

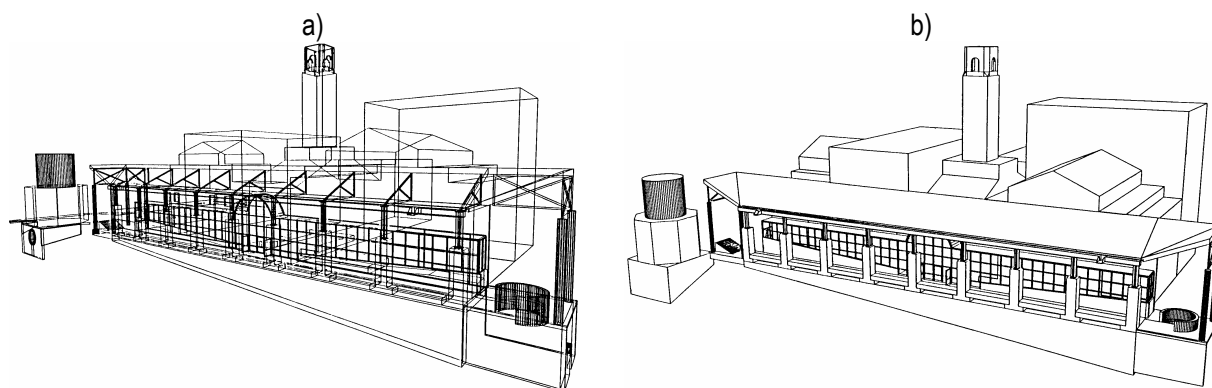


Slika 6.13. Dva primjera satne crtaće ploče za crtanje perspektive [14]

Osim karata ili mreža sa crtama u perspektivi, jedno od pomagala za crtanje perspektive jesu i posebne crtaće ploče različitih izvedbi (slika 6.13.), kao što su npr. satne ploče perspektive [14], tzv. Andersenove ploče [14] za neposredno crtanje zrakoplova u perspektivi (slika 6.13.b), koje upotrebljava i North American Aviation Inc.

Razvojem računarске tehnike, a posebice računarske grafike (computer graphics), crtanje perspektive ne predstavlja više nikakvu poteškoću, bez obzira na složenost predmeta ili objekta. Neograničenim variranjem položaja nedogleda može se doći do optimalne perspektive promatranog objekta.

Na slici 6.14.a prikazana je varijanta prostorne predodžbe jednog građevinskog kompleksa u obliku tzv. žičanog modela⁵ dobivenog uz podršku računalnog sustava za crtanje. Ako se ovoj predodžbi pridruži svojstvo mase, dobit će se predodžba u obliku tzv. modela tijela⁶ (slika 6.14.b) [15].



Slika 6.14. Prostorna predodžba građevinskog kompleksa u obliku tzv. žičanog modela (a) i u obliku tzv. modela tijela (b) [15]

6.3. Aksonometrijska projekcija

Aksonometrija je postupak kojim se predmeti predstavljaju na ravnini uz pomoć paralelnog projiciranja. Rezultat ovog postupka jest aksonometrijska projekcija. Predmet, posebice manji, u usporedbi sa središnjim projiciranjem ne gubi mnogo od svog naravnog izgleda. Položaji predmeta prema ravnini projekcija kod aksonometrije su takvi da se pojedine dimenzije crtaju ili skraćene (prikraćene) ili neskrraćene (neprikraćene).

U praksi se upotrebljava kosa i ortogonalna aksonometrija (tablica 6.1.).

6.3.1. Kosa aksonometrija

U kosoaksonometrijske projekcije spadaju (tablica 6.1.):

- kosa projekcija

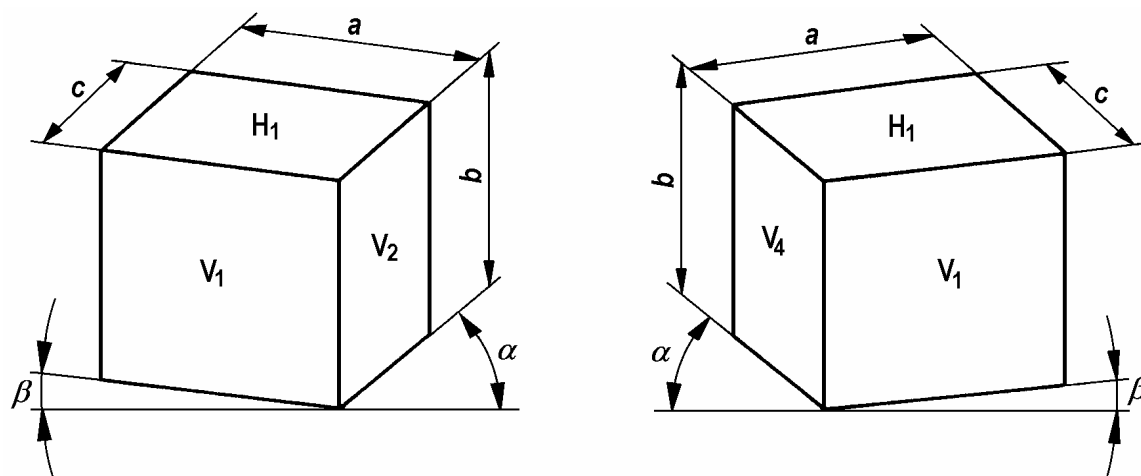
⁵ wire-frame model (ne sadrži svojstvo mase)

⁶ solid model (sadrži svojstvo mase)

- frontalna (kavalir) aksonometrija.

Tablica 6.1. Karakteristične izmjere kod aksonometrije (veza sa slikom 6.15.)

Vrsta aksonometrije		Karakteristične izmjere				
		α	β	a	b	c
A Kosa aksonometrija						
A.1	Kosa projekcija	$30^\circ \dots 45^\circ$	0°	1	1	$1/2 \dots 2/3$
A.2	Frontalna (kavalir) aksonometrija	$30^\circ \dots 45^\circ$	0°	1	1	1
B Ortogonalna aksonometrija						
B.1	Izometrijska projekcija	30°	30°	1	1	1
B.2	Dimetrijska projekcija	42°	7°	1	1	$1/2$
B.3	Trimetrijska projekcija	$30^\circ \dots 45^\circ$	$<30^\circ$	proizvoljne		



Slika 6.15. Kocka u dva položaja opće aksonometrije (a – duljina, b – visina, c – širina)

Kosa projekcija (slika 6.16.a). Prikaz predmeta pojednostavnjen je tako što se bridovi koji su usporedni s ravninom crtanja crtaju u pravoj veličini, iako je predmet pod nekim kutom. Zbog toga duljina i visina nisu prikraćene. Širina se crta pod kutom $\alpha = 30^\circ \dots 45^\circ$ i prikratom $n = 1/2 \dots 2/3$. Kosa projekcija [6] omogućava zorni prikaz predmeta i dimenzioniranje, a slična je perspektivnoj slici. Primjenjuje se kod predmeta ograničenih ravnim ploham ili kod valjkastih ploha s osima okomitim na ravninu crtanja gdje se dvije dimenzije ne prikraćuju. I osim nedostataka, kosa se projekcija dugo upotrebljava u strojarstvu jer se vrlo lako crta.

Frontalna (kavalir) aksonometrija. Frontalna aksonometrija vrlo je slična kosoj projekciji, s tim da kod nje nema skraćivanja duljine, širine i visine (vidi tablicu 6.1.).

6.3.2. Ortogonalna aksonometrija

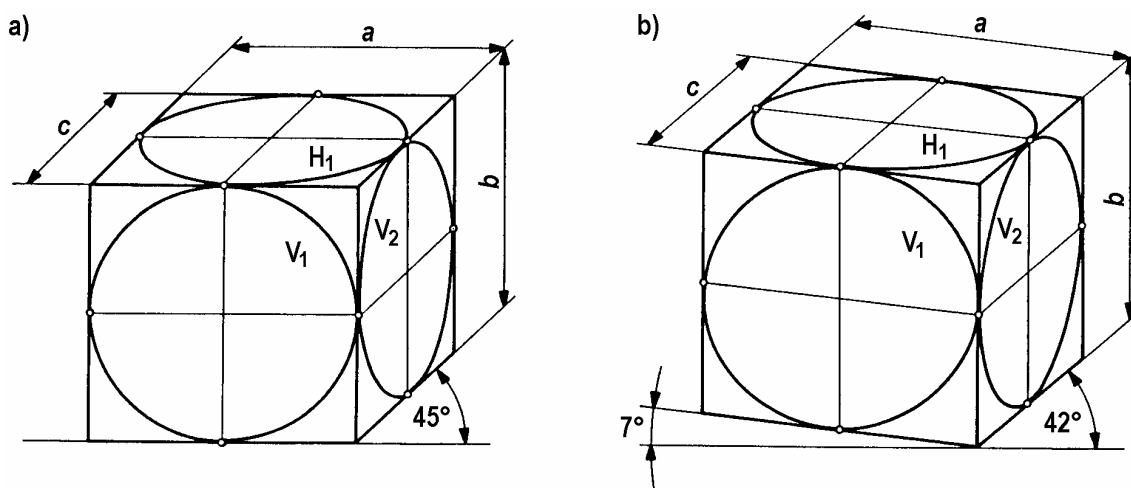
U ortogonalne aksonometrijske projekcije spadaju (tablica 6.1.):

- izometrijska projekcija
- dimetrijska projekcija
- trimetrijska projekcija.

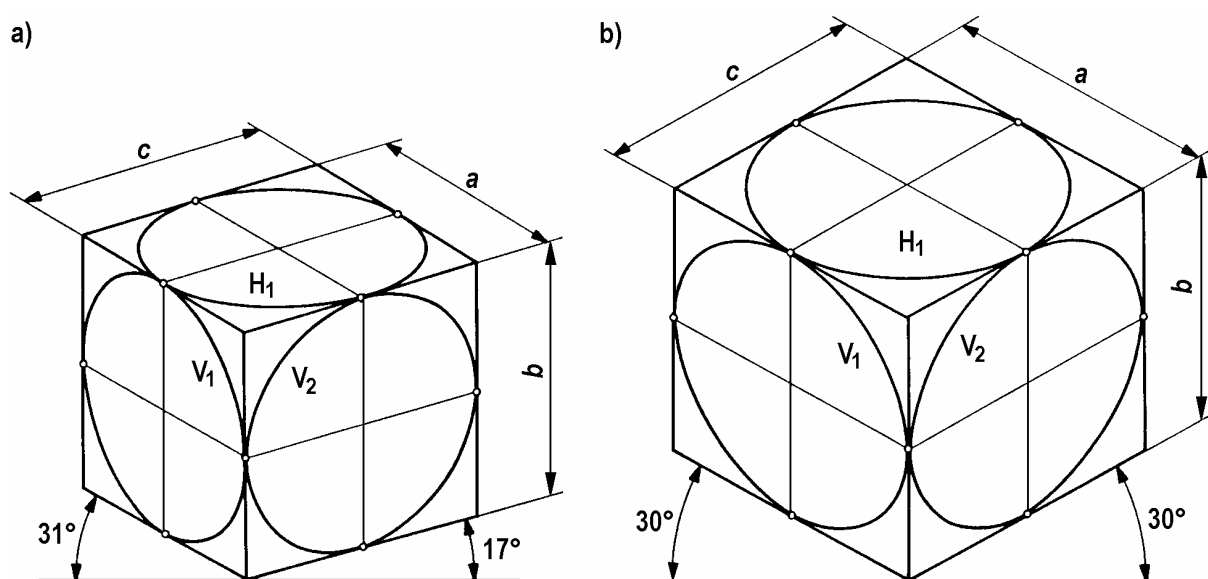
Izometrijska projekcija (izometrija)(tablica 6.1.) ima sve tri dimenzije predmeta u pravoj veličini (slika 6.17.b). Koristi se za predodžbu predmeta u slučajevima kada njegov oblik treba biti vidljiv gotovo u naravnoj veličini u sva tri pogleda i u slučajevima kada predmet treba dimenzionirati. I uz to ne daje tako zoran prikaz, kao npr. dimetrijska projekcija, najčešće je zastupljena u tehničkom crtanju u strojarstvu zbog svoje praktičnosti i lakoće crtanja.

Dimetrijska projekcija (dimetrija)(slika 6.16.b). Ime ove ortogonalne aksonometrijske projekcije dolazi od toga što ima dvije dimenzije u pravoj veličini (duljinu i visinu), a treća je prikraćena na polovinu (širina).

Trimetrijska projekcija (trimetrija)(slika 6.17.a). Ime ove ortogonalne aksonometrijske projekcije dolazi od toga što ima sve tri dimenzije prikraćene za proizvoljan iznos (vidi tablicu 6.1.), međutim najljepša slika dobije se onda kada je omjer $a : b : c = 0,9 : 1 : 0,5$.



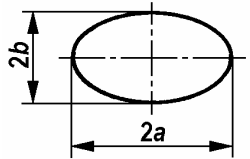
Slika 6.16. Kocka s ucrtanim kružnicama u kosoj (a) i dimetrijskoj (b) projekciji

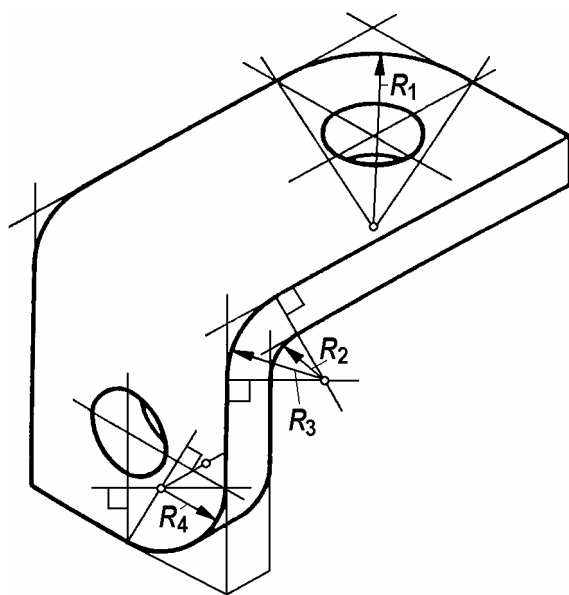


Slika 6.17. Kocka s ucrtanim kružnicama u trimetrijskoj (a) i izometrijskoj (b) projekciji

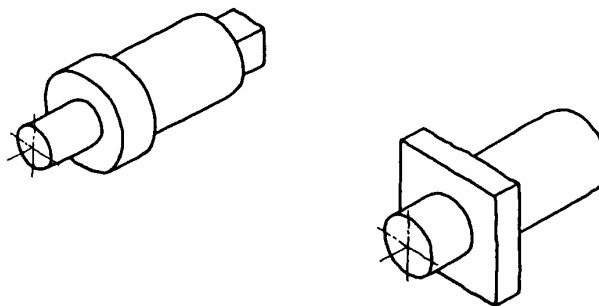
Simetrale kvadratnih ploha kocke bit će konjugirani promjeri za elipse (slike 6.16. i 6.17.) s izmjerama danim u tablici 6.2. Detaljan opis približnog postupka crtanja elipsa pomoću kružnih lukova, za prednju (V_1), bočnu (V_2) i gornju ravninu (H_1) kocke u izometrijskoj projekciji, dan je u točki 5.19.2., odnosno na slikama 5.36., 5.37. i 5.38.

Tablica 6.2. Izmjere elipsa (kružnice u aksonometrijskoj projekciji)(veza sa slikom 6.15.)

Vrsta aksonometrije	Plohe kocke					
	$V_1=V_3$		$V_2=V_4$		$H_1=H_2$	
	$2a$	$2b$	$2a$	$2b$	$2a$	$2b$
Kosa projekcija	d	d	$1,070 \cdot d$	$0,334 \cdot d$	$1,070 \cdot d$	$0,334 \cdot d$
Frontalna (kavalir) projekcija	d	d	$1,070 \cdot d$	$0,668 \cdot d$	$1,070 \cdot d$	$0,668 \cdot d$
Dimetrijska projekcija	d	d	$1,060 \cdot d$	$0,353 \cdot d$	$1,060 \cdot d$	$0,353 \cdot d$
Trimetrijska projekcija	ovisno o izboru α, β, a, b i c					
Izometrijska projekcija	$1,225 \cdot d$	$0,707 \cdot d$	$1,225 \cdot d$	$0,707 \cdot d$	$1,225 \cdot d$	$0,707 \cdot d$
 <p>d – promjer kružnica upisanih u plohe kocke (kvadrate stranica $a=d$) $2a$ – velika os elipse $2b$ – mala os elipse</p>						



Slika 6.18. Primjeri konstruiranja zaobljenja u izometrijskoj projekciji

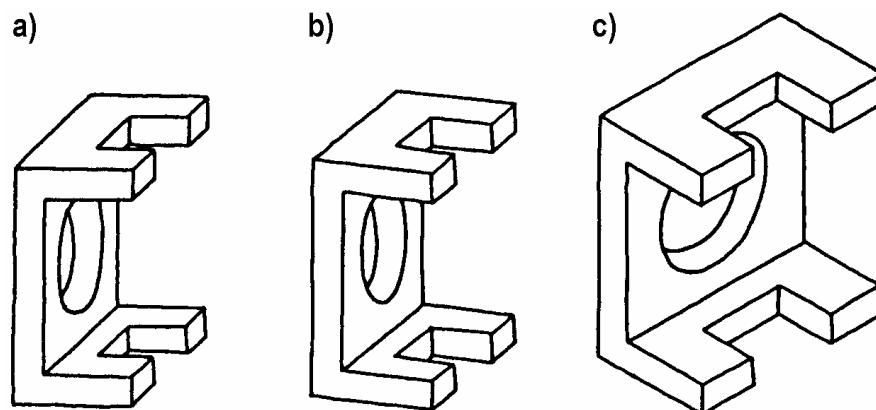


Slika 6.19. Prostoručna skica dvaju jednostavnih predmeta u izometrijskoj projekciji

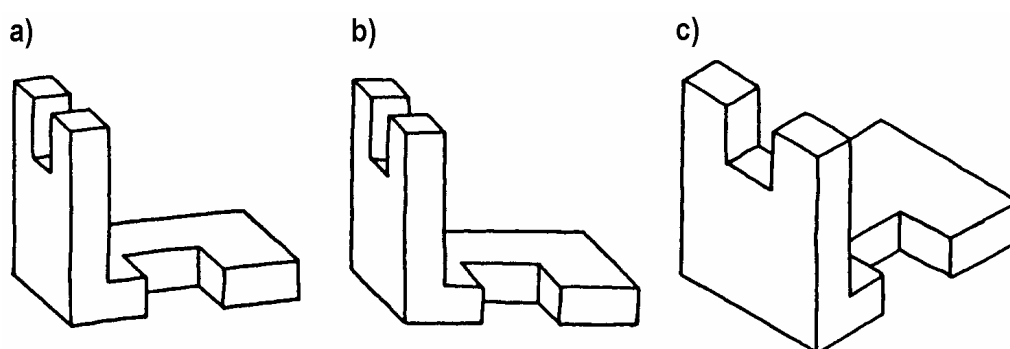
Na slici 6.18. prikazan je postupak konstruiranja zaobljenja u izometrijskoj projekciji na jednom predmetu.

Slika 6.19. predstavlja prostoručnu skicu dvaju jednostavnih predmeta u izometrijskoj projekciji.

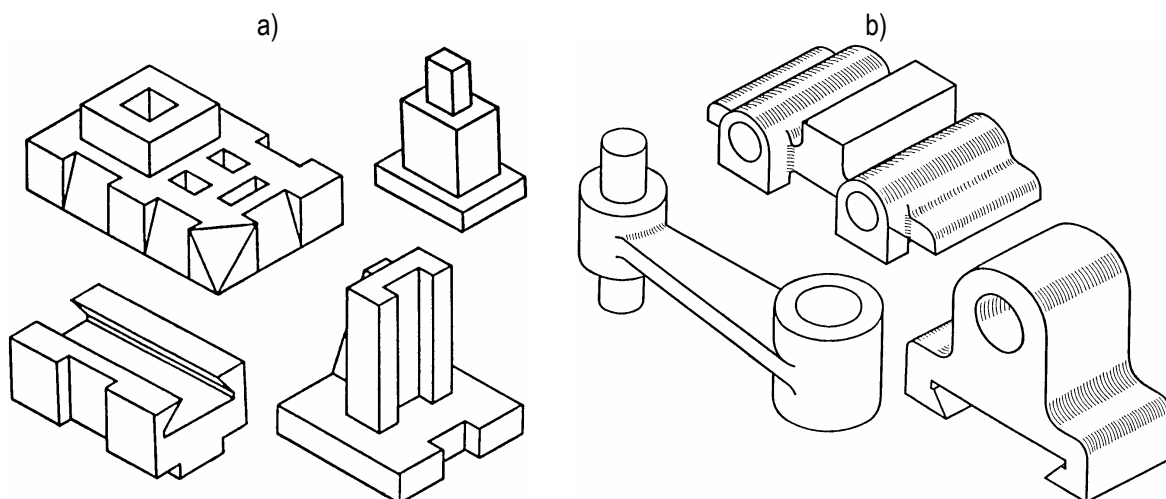
Na slikama 6.20. i 6.21. dane su prostoručne skice jednostavnih predmeta u kosoj, dimetrijskoj i izometrijskoj projekciji.



Slika 6.20. Prostoručna skica predmeta u kosoj (a), dimetrijskoj (b) i izometrijskoj (c) projekciji



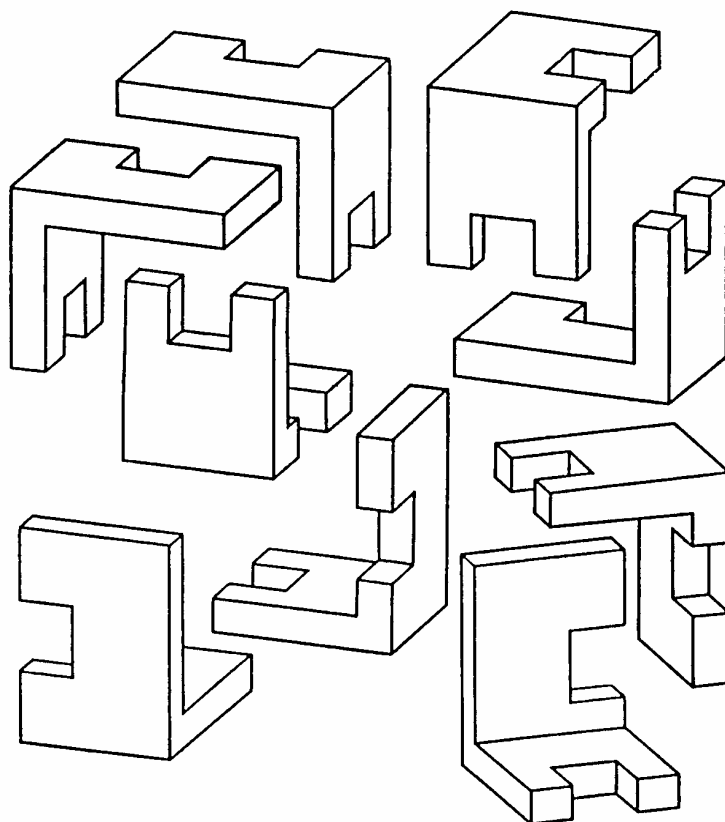
Slika 6.21. Prostoručna skica predmeta u dimetrijskoj (a), kosoj (b) i izometrijskoj (c) projekciji



Slika 6.22. Različiti predmeti u izometrijskoj projekciji (a – predmeti sastavljeni od uglatih geometrijskih tijela, b – predmeti sastavljeni od pretežito rotacijskih geometrijskih tijela)

Nekoliko različitih predmeta nacrtanih u izometrijskoj projekciji prikazano je na slici 6.22.

Predmet koji se želi nacrtati u npr. dimetrijskoj projekciji može zauzeti proizvoljan položaj za crtanje, kao što je to prikazano na slici 6.23.



Slika 6.23. Predmet nacrtan u dimetrijskoj projekciji u nekoliko proizvoljnih položaja za crtanje

6.4. O ortogonalnoj projekciji

6.4.1. Osnovna pravila ortogonalnog projiciranja

Ortogonalna projekcija (ISO 128) najbolje zadovoljava zahtjeve jer da bridovi i plohe predmeta u projekciji imaju jednake odnose s predmetom u naravi (slika 6.2.). Kod ove vrste projiciranja zadovoljen je ne samo zahtjev o paralelnosti i jednakosti bridova u prostoru i projekciji već su i kutovi pod određenim uvjetima u prostoru i projekciji jednaki, što nije bio slučaj kod prostornog predočavanja. Ovo projiciranje (koje se još zove i pravokutno paralelno projiciranje) [6] je najpovoljnije i najjednostavnije, vrlo pogodno za predočavanje i dimenzioniranje, te se stoga gotovo isključivo rabi u tehničkom crtanju.

Osnovna pravila ovog projiciranja (slika 6.2.) jesu :

- a) zrake projiciranja okomite su na ravnine projekcija (crtanja),
- b) predmet se nalazi između ravnine projekcija i crtača,
- c) projekcija (pogled) predstavlja crtež onog dijela predmeta koji se vidi u smjeru gledanja.

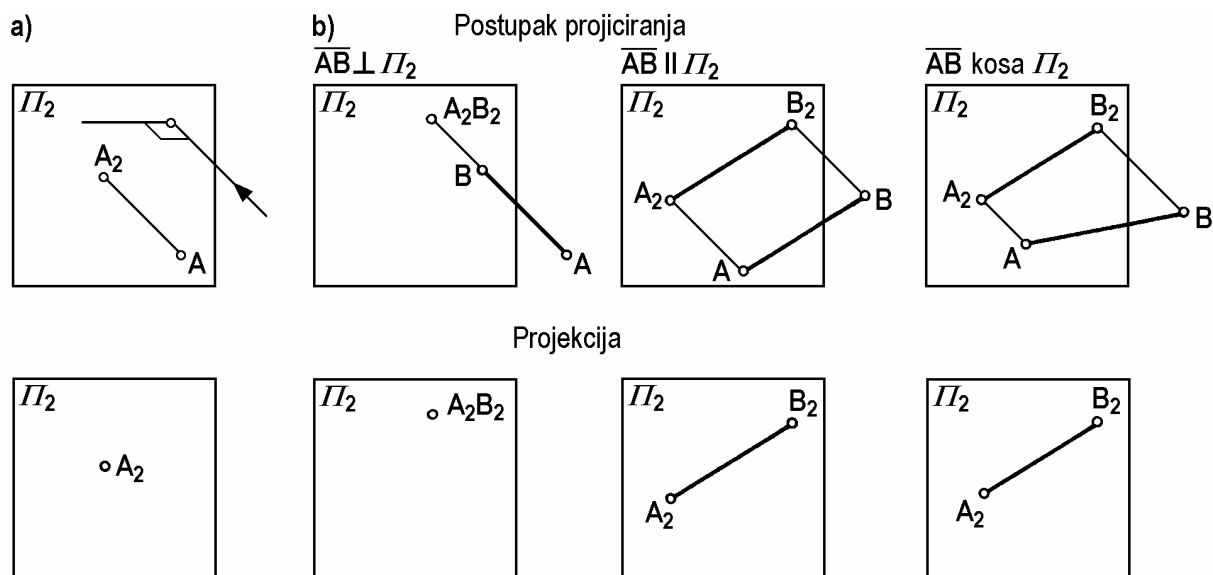
Nakon što se odredi probodište zrake projiciranja s ravinom projekcija za jednu točku predmeta, potrebno je voditi računa o prostornim odnosima na predmetu, jer upravo o njima ovisi spajanje karakterističnih točaka u postupnom crtanju projekcije predmeta.

Projekcija predmeta (pogled) slika je predmeta na jednoj ravnini. Budući da ravnina ima samo dvije dimenzije, a predmet koji treba predložiti tri dimenzije, jedna pravokutna projekcija nije dovoljna da se predmet potpuno odredi. Dakle, potrebno je predmet gledati po istom načelu kao na slici 6.2., s različitih strana u različitim smjerovima i projicirati na odgovarajuće ravnine kako bi se vidjeli svi njegovi dijelovi. Pri tome predmet ne mijenja svoj položaj. Za svaki smjer pogleda treba nacrtati odgovarajuću projekciju u ravnini crtanja, pa će sve projekcije skupa potpuno odrediti oblik predmeta.

6.4.2. Projiciranje na jednu ravninu

Svaki predmet (objekt, strojni dio) omeđen je plohami, plohe se međusobno sijeku u bridovima, a bridovi u vrhovima. Točke, crte i plohe osnovni su geometrijski elementi pa je potrebno razmotriti njihove projekcije na jednu ravninu za različite položaje u odnosu na ravninu crtanja uz poštivanje pravila ortogonalnog projiciranja. Uz projekciju, svaki mogući položaj ovih elemenata predložiti će se i prostorno.

U slučaju projiciranja točke A iz prostora na ravninu projekcije (Π_2 na slici 6.24.a), potrebno je kroz točku povući zraku projiciranja okomito na tu ravninu. Probodište zrake projiciranja i ravnine projekcija predstavlja projekciju točke, označenu s A_2 .



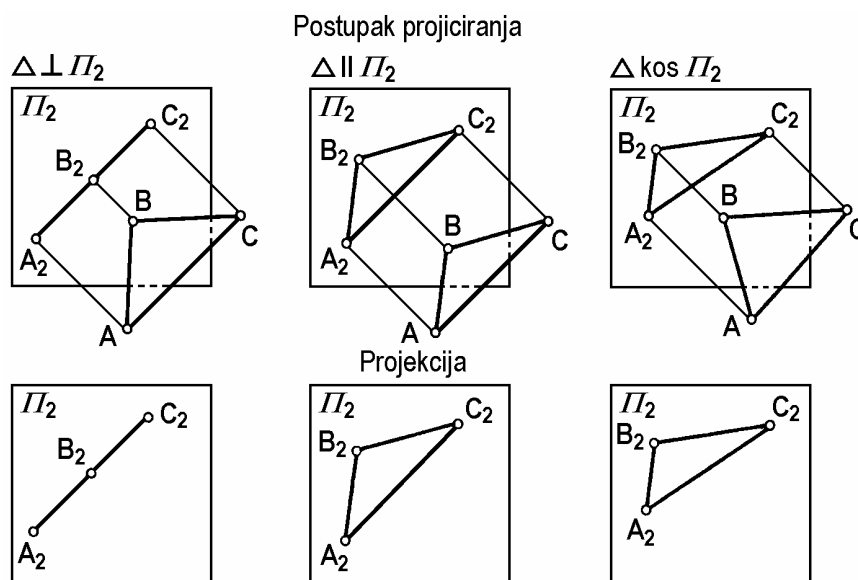
Slika 6.24. Projekcija točke (a) i dužine (b) na ravninu projekcija Π_2

Za bilo koji drugi geometrijski element, pa i za predmet, postupak projiciranja je identičan jer se oni mogu omeđiti karakterističnim točkama. Dakle, problem se svodi na traženje probodišta zrake projiciranja i ravnine projekcija za karakteristične točke predmeta.

Dužina u odnosu na ravninu projekcija može imati različite položaje: može biti okomita, paralelna ili kosa (slika 6.24.b). Ako je dužina \overline{AB} okomita na ravninu projekcija, poklopit će se sa zrakom projiciranja jer je i ona okomita na ravninu, a projekcija takve duljine, bit će točka (A_2B_2). Na dužini \overline{AB} , koja je paralelna s ravninom crtanja bit će svaka točka duljine jednako udaljena od ravnine pa će sukladno tome projekcija takve duljine biti paralelna i jednaka dužini u prostoru ($\overline{AB} = \overline{A_2B_2}$), a duljine zraka projiciranja između odgovarajućih točaka u prostoru i projekcija jednake ($\overline{AA_2} = \overline{BB_2}$). U ovom slučaju dužina se projicira u pravoj veličini.

Ova dva položaja dužine u odnosu na ravninu projekcija (okomit i paralelan), posebice su važni za tehničko crtanje jer se položaji ploha predmeta i ravnina crtanja odabiru upravo tako da olakšaju crtanje, odnosno da projekcija bude u pravoj veličini, jer je samo takva projekcija pogodna za dimenzioniranje (što je jedan od konačnih ciljeva tehničkog crteža).

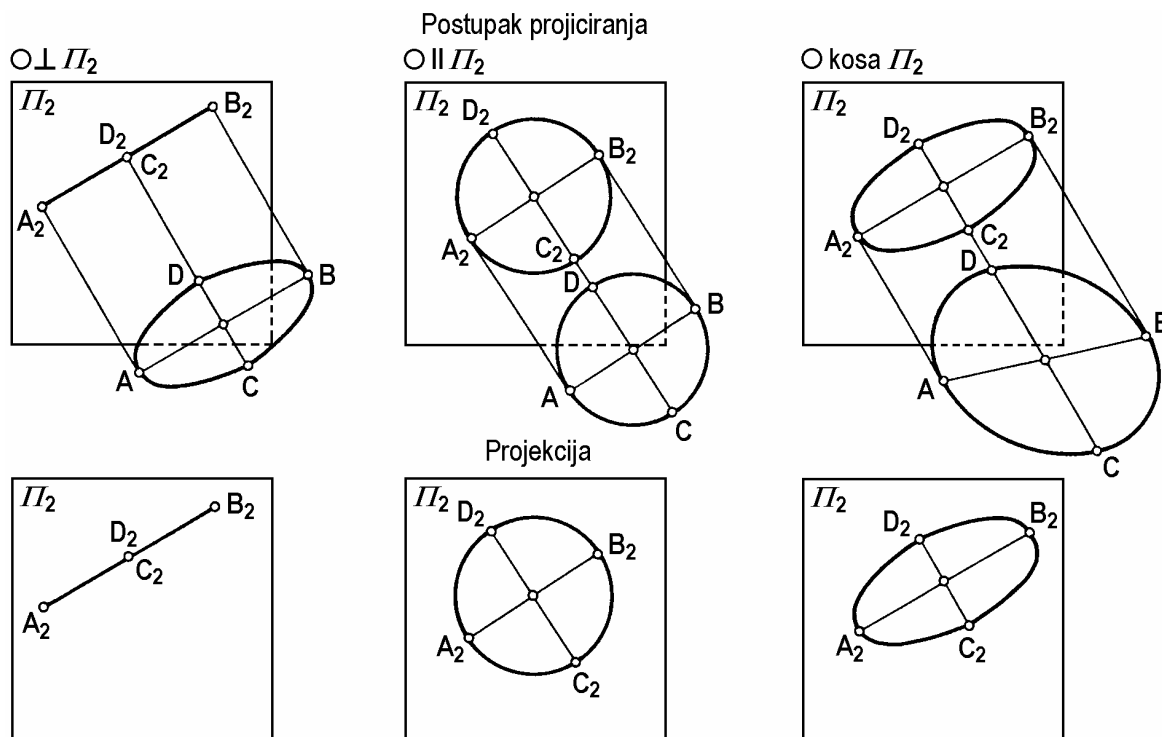
U slučaju da je dužina kosa u odnosu na ravninu projekcija, bit će i njezina projekcija kraća s obzirom na to što dužina i projekcija nisu paralelne ($\overline{A_2B_2} \neq \overline{AB}$ jer je $\overline{AA_2} \neq \overline{BB_2}$) (slika 6.24.b).



Slika 6.25. Projekcija trokuta na ravninu projekcija Π_2

Slični se odnosi javljaju i kod ravninskih likova, npr. kod trokuta (slika 6.25.) ili kružnice (slika 6.26.). Kod lika u okomitom položaju u odnosu na ravninu crtanja, svaka točka projekcije predstavlja niz točaka lika, jer zrake projiciranja i lik imaju isti položaj u odnosu na ravninu projekcija, tj. zrake "klize" likom (slika 6.25.). Ako je lik u paralelnom položaju s ravninom projekcija, bit će projekcija i lik u prostoru potpuno jednaki - sukladni ($\triangle ABC \cong \triangle A_2B_2C_2$), a granične dužine koje omeđuju lik bit će u prostoru i projekciji paralelne, odnosno pređočuju se u

pravoj veličini ($\overline{AB} \parallel \overline{A_2B_2}$, $\overline{BC} \parallel \overline{B_2C_2}$ i $\overline{AC} \parallel \overline{A_2C_2}$, jer je $\overline{AA_2} = \overline{BB_2} = \overline{CC_2}$). Lik kos prema ravni projekcija neće se u toj ravni projicirati u naravnoj veličini.



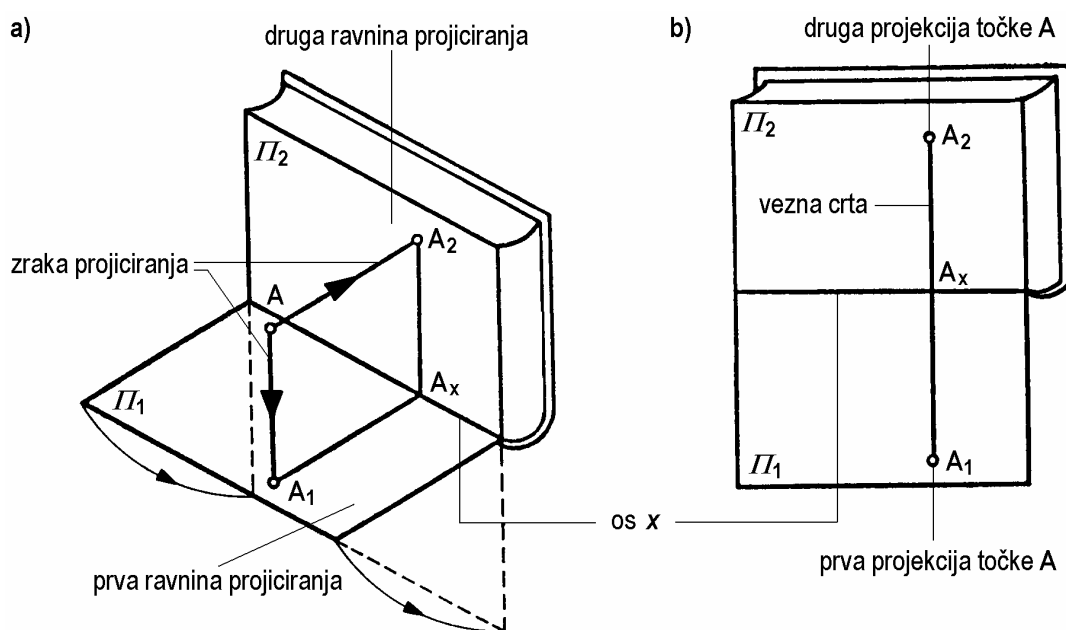
Slika 6.26. Projekcija kružnice na ravninu projekcija Π_2

Važnost okomitog ili paralelnog položaja ravnina u odnosu na ravninu projekcija posebno je uočljiva pri projiciranju kružnice (slika 6.26.). Projekcije rotacijskih tijela djelomično su omeđene kružnicama, a za kosi položaj kružnice u odnosu na ravninu projekcija, projekcija je elipsa. Crtanje elipsa nije lako i predstavlja dugotrajan posao, a ako bi se to moralo raditi za svako rotacijsko tijelo, crtanje bi se uvelike otežalo. Posebni položaji (okomiti i paralelni) ne predstavljaju nikakve teškoće jer se crtaju dužine koje su jednake veličini promjera ili kružnice u naravnoj veličini.

Analizirajući ortogonalne projekcije samo na jednu ravninu, očigledno je da se iz njih ne može sa sigurnošću zaključiti oblik predmeta, odnosno položaj njegovih bridova i ploha u prostoru. Dakle, jedini zaključak koji se nameće jest taj da je položaj okomit ako je projekcija brida točka ili plohe dužina, odnosno paralelan s ravninom projekcija ako je brid projiciran u pravoj, a ploha u naravnoj veličini. Također je jasno da za određivanje bridova i ploha u općem položaju prema ravni projekcija nije dovoljna samo jedna projekcija.

6.4.3. Projiciranje na dvije ravnine

U slučaju projiciranja na dvije okomite ravnine projekcija potrebno je iz svake točke predmeta povući međusobno okomite zrake projiciranja, koje su okomite na te ravnine. Zrake projiciranja povučene kroz bilo koju točku predmeta probost će pripadne ravnine projekcija Π_1 i Π_2 . Dobivena probodišta predstavljaju projekcije točaka⁷. Ortogonalne projekcije objekta odrede se u izabranoj ravlini crteža (npr. Π_2) tako da se pridružena ravnina projekcija (Π_1) rotira u ravninu crteža oko njihove presječne (osi x) za 90° .



Slika 6.27. Rotiranje ravnine Π_1 oko osi x prikazano pomoću knjige [6]

Ovo rotiranje ravnine može se zorno predočiti pomoću knjige (slika 6.27.). Druga ravnina projekcija (ravnina crtanja) Π_2 ⁸ miruje, a prva ravnina projekcija Π_1 ⁹ rotira se oko osi x za 90° prema dolje, odnosno dok se ne poklopi s ravni Π_2 (slika 6.27.a). Kroz točku A u prostoru prolaze zrake projiciranja AA_2 okomito na Π_2 i AA_1 okomito na Π_1 do probodišta s ovim ravninama projekcija. Pri određivanju projekcija, u slučaju da je jedno probodište određeno proizvoljno, određeno je i drugo jer spojnice $AA_1A_xA_2$ u prostoru tvore pravokutnik. Ovaj pravokutnik u prostornoj slici zbog ukošenja postaje paralelogram. Točka A je u prostoru udaljena od ravnine Π_1 za $\overline{AA_1} = \overline{A_2A_x}$, a od ravnine Π_2 $\overline{AA_2} = \overline{A_1A_x}$, budući da se radi o stranicama pravokutnika. Zakretanjem ravnina padaju

⁷ to je tzv. Mongeova metoda projiciranja [24]

⁸ uspravna, vertikalna ili frontalna ravnina projekcija

⁹ vodoravna ili horizontalna ravnina projiciranja

projekcije zraka projiciranja $A_1A_xA_2$ u dužinu (spojna dužina $\overline{A_2A_1} \perp x$ zove se ordinala)(slika 6.27.b) koji je okomit na presječnicu ravnina Π_1 i Π_2 (os x).

Već je rečeno da su u tehničkom crtanju (posebice u tehničkom crtanju u strojarstvu) najčešći i najvažniji položaji bridova i ploha: okomito kad se brid projicira u točku, a ploha u dužinu, te paralelno kad se brid i ploha projiciraju u naravnoj veličini jer su duljine zraka projiciranja do ravnine jednake, a bridovi u prostoru i projekciji paralelni. Oblik projekcije proizlazi iz pravila ortogonalnog projiciranja, pa je bilo koji položaj moguće predložiti jednostavnim pomagalima i pravilnim gledanjem u oba smjera na ravnine crtanja.

Na ovaj se način dobiju dvije pridružene ili konjugirane projekcije budući da predmet ne mijenja položaj za vrijeme crtanja. Ravnine projekcija mora se zakrenuti sve dok ne padne u jednu ravninu, a to se čini s donjom ravninom Π_1 (slika 6.27.). Projekcije odgovarajuće točke i plohe predmeta moraju se nalaziti na ordinalama.

6.4.4. Projiciranje na tri ravnine

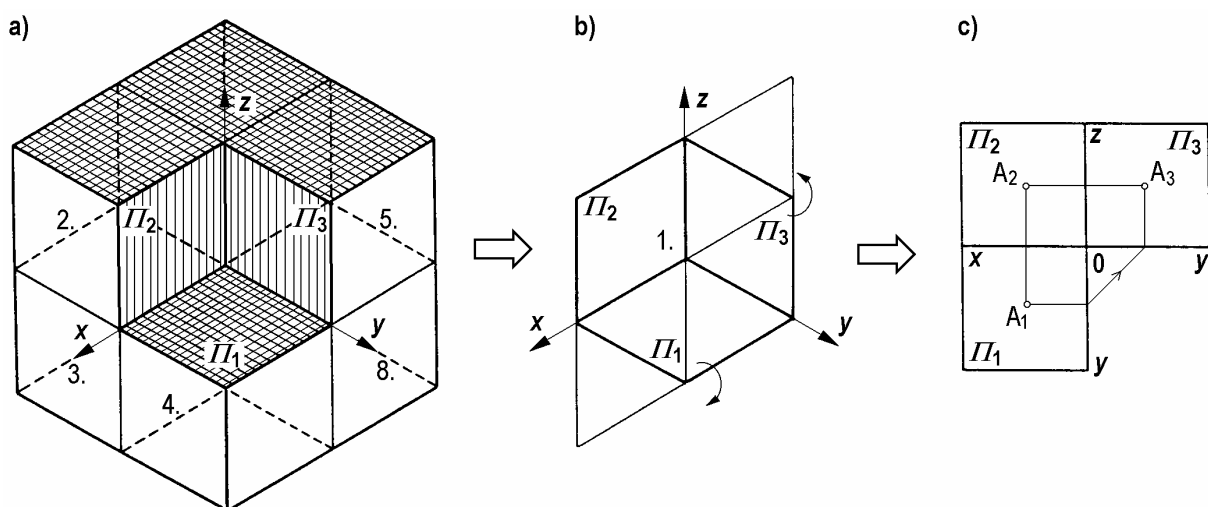
Projiciranje na tri ravnine moguće je predložiti prostornim kutom (slika 6.28.a)¹⁰, npr. kutom prostorije. Sve tri ravnine (Π_1 , Π_2 , Π_3) sijeku se u ishodištu pravokutnog koordinatnog sustava 0, a dvije i dvije u presječnici (os x , y i z). Ravnine Π_1 , Π_2 i Π_3 međusobno su okomite, stoga su i njihove presječnice također međusobno okomite. Zrake projiciranja paralelne su s presječnicama. Presječnice - osi x , y i z predstavljaju tri glavne dimenzije predmeta: duljinu, širinu i visinu. Prostorni kut treba zamisliti kao razrezan duž presječnica i ravninama zakrenutim na sljedeći način: ravninu Π_1 zakrenuti prema dolje, a ravninu Π_3 udesno sve do podudaranja s ravninom Π_2 . Na slici 6.28.a, b i c prikazan je opisani postupak za slučaj prvog kvadranta. Tri projekcije jesu: N – nacrt u ravnini Π_2 , T - tlocrt u ravnini Π_1 i B - bokocrt u ravnini Π_3 (slika 6.28.c).

Ako se želi projicirati točka A u prostoru na tri ravnine (slika 6.29.), zrake projiciranja povlače se okomito na ravnine projekcija do probodišta s ravninama. Postupak projiciranja primijenjen na dvije ravnine (točka 6.4.3.) ovdje treba nadopuniti projekcijom na treću ravninu projekcija. Udaljenosti točke A u prostoru od ravnina projekcija iznose: od Π_1 $\overline{AA_1} = \overline{A_3A_y} = \overline{A_2A_x} = \overline{A_z0}$, od Π_2 $\overline{AA_2} = \overline{A_1A_x} = \overline{A_3A_z} = \overline{A_y0}$ i od Π_3 $\overline{AA_3} = \overline{A_2A_z} = \overline{A_1A_y} = \overline{A_x0}$.

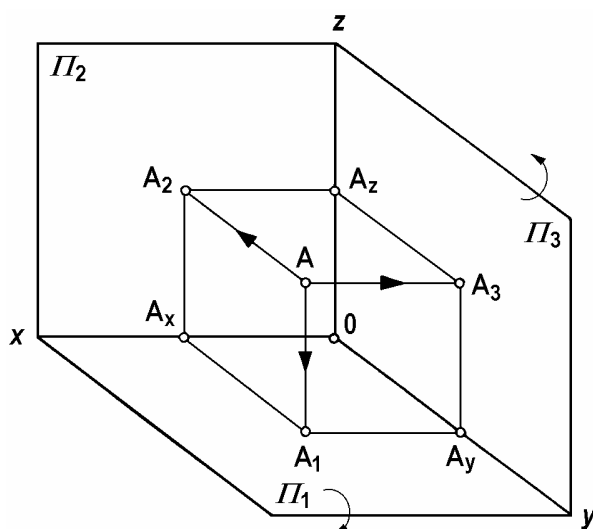
Nakon zakretanja ravnina projekcija (slike 6.28., 6.29. i 6.30.) spojnica $\overline{A_1A_2}$ bit će okomita na presječnicu x , a spojnica $\overline{A_2A_3}$ na presječnicu z . Projekcije na ravninu Π_1 i Π_3 mogu se povezati pomoću šestara (tako da se udaljenost $\overline{A_y0}$ prenese pomoću šestara iz točke 0, jer se presječna y pojavljuje dva puta kod

¹⁰ prvi kvadrant (prema ISO 128)

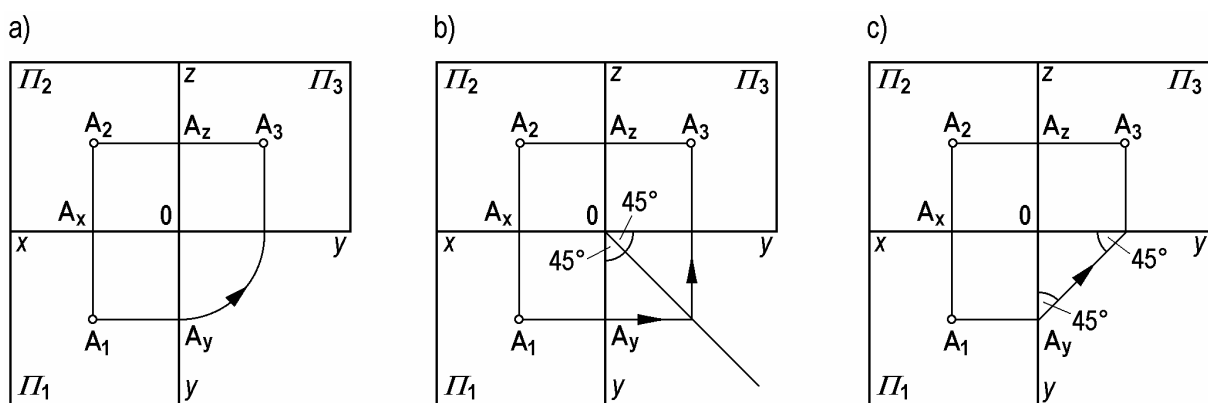
zakrenutih ravnina) (slika 6.30.a), pomoću simetrale kuta (slika 6.30.b) i pomoću jednakokračnog trokuta (slika 6.30.c).



Slika 6.28. Prostorni kut koji odgovara prvom kvadrantu (ISO 128)

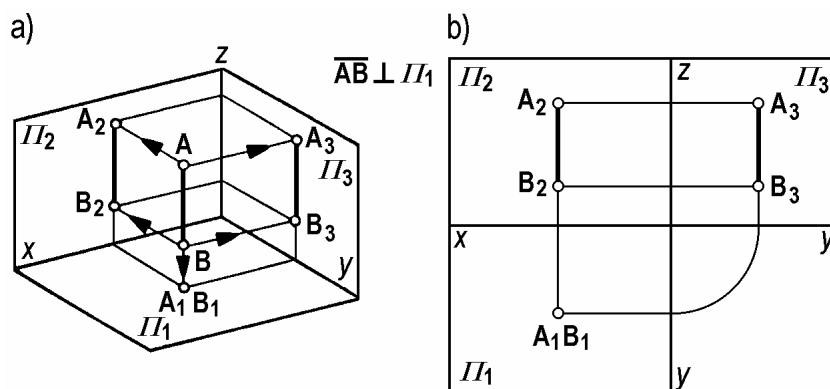
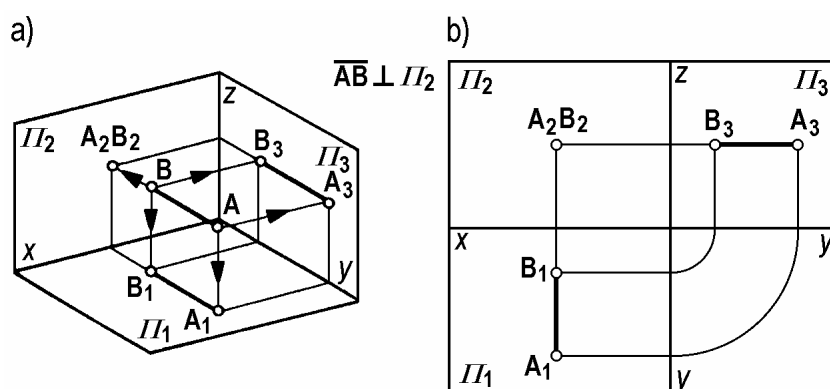
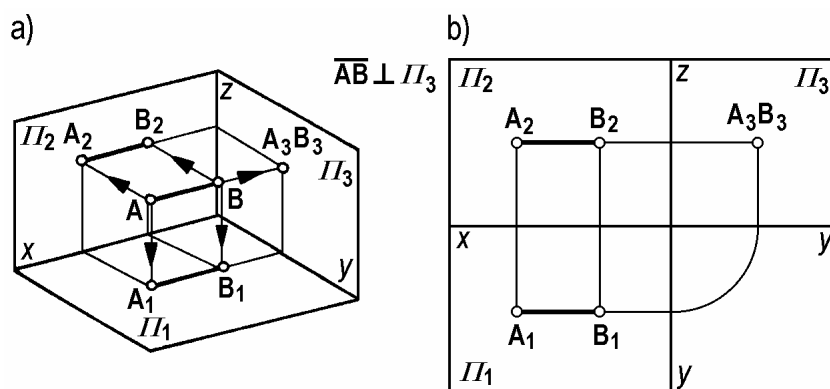


Slika 6.29. Prostorni kut koji odgovara prvom kvadrantu (ISO 128)

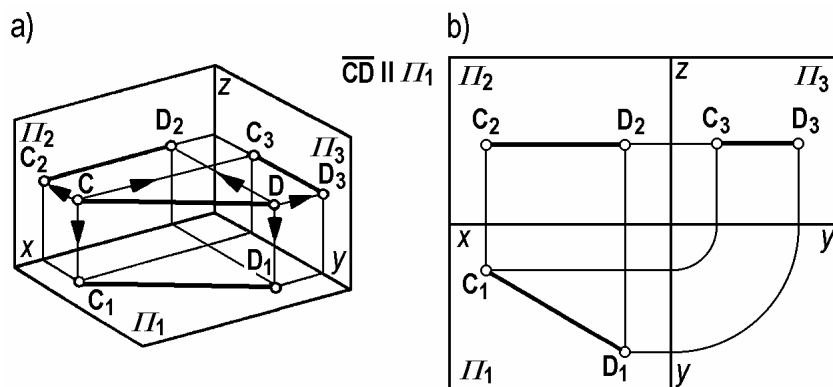


Slika 6.30. Povezivanje projekcija na ravninu Π_1 i Π_3 [18]

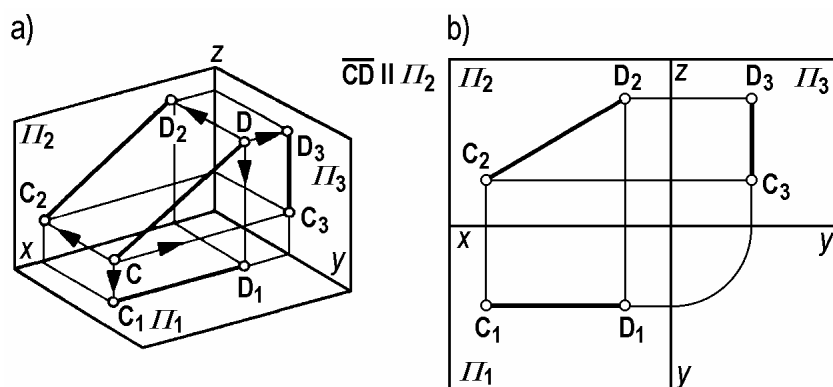
Udaljenost točke A u prostoru od ravnine crtanja Π_1 je definirana pomoću udaljenosti drugih dviju ravnina od svojih presječnica ($\overline{A_2A_x} = \overline{A_3A_y}$). To također vrijedi i za udaljenosti od druge dvije ravnine (od Π_1 $\overline{A_1A_x} = \overline{A_3A_z}$ i od Π_3 $\overline{A_2A_z} = \overline{A_1A_y}$). Dakle, pri projiciranju na tri ravnine projekcija vidljive su u crtežu udaljenosti od promatrane ravnine projekcija preko položaja ostalih projekcija u odnosu na presječnice s promatranom ravinom. Vidljivi su također i drugi odnosi, kao npr. paralelnost, okomitost i slično s obzirom na promatranu ravinu crtanja.

Slika 6.31. Projiciranje dužine \overline{AB} okomite na ravinu Π_1 Slika 6.32. Projiciranje dužine \overline{AB} okomite na ravinu Π_2 Slika 6.33. Projiciranje dužine \overline{AB} okomite na ravinu Π_3

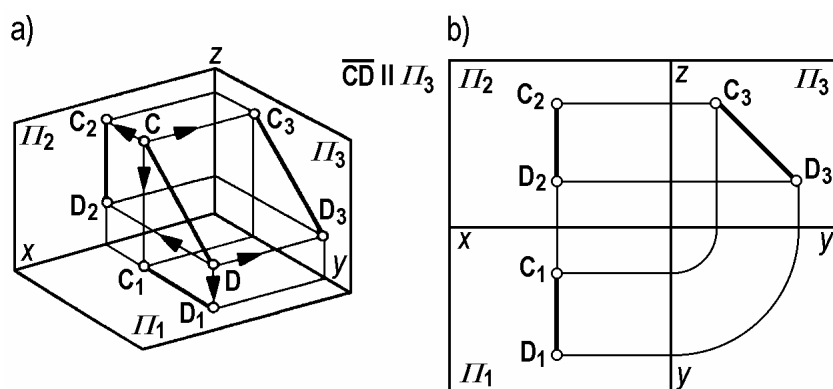
Na slikama od 6.31. do 6.36. predložene su dužine u karakterističnim položajima u odnosu na ravnine slike ili projekcija, te njihovo ortogonalno projiciranje na tri ravnine u prostoru (a) i izgled projekcija nakon zakretanja ravnina projekcija (b) u ravninu crteža.



Slika 6.34. Projiciranje dužine \overline{CD} paralelne s ravinom Π_1 , a kose u odnosu na ravnine Π_2 i Π_3



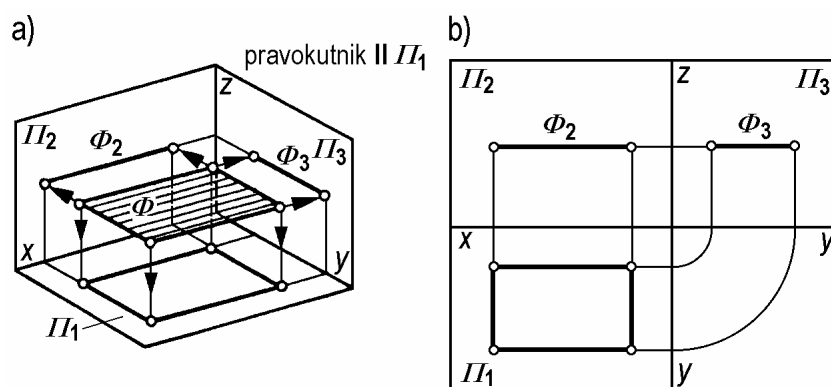
Slika 6.35. Projiciranje dužine \overline{CD} paralelne s ravinom Π_2 , a kose u odnosu na ravnine Π_1 i Π_3



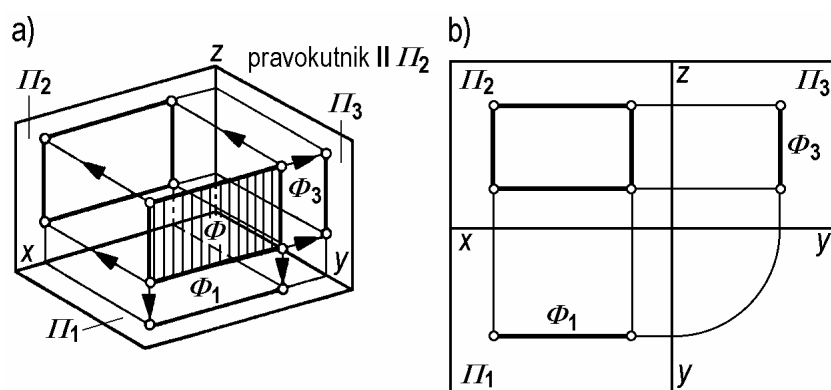
Slika 6.36. Projiciranje dužine \overline{CD} paralelne s ravinom Π_3 , a kose u odnosu na ravnine Π_1 i Π_2

Na slikama od 6.37. do 6.42. predložene su ravnine Φ (pravokutnik, kvadrat) u karakterističnim položajima u odnosu na ravnine crtanja, te njezino ortogonalno

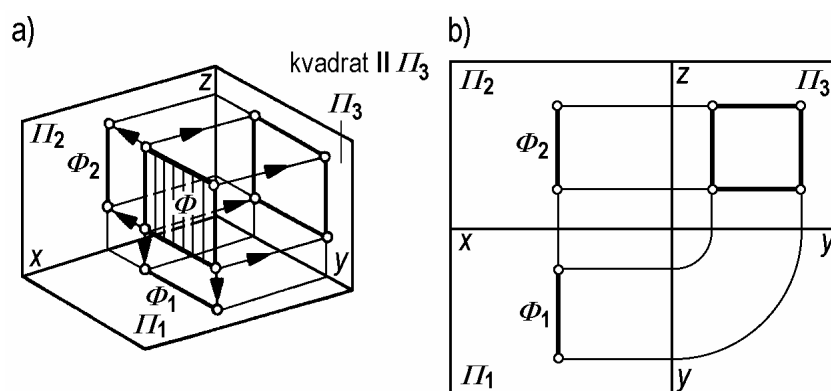
projiciranje na tri ravnine u prostoru (a) i izgled projekcija nakon zakretanja ravnina projekcija (b).



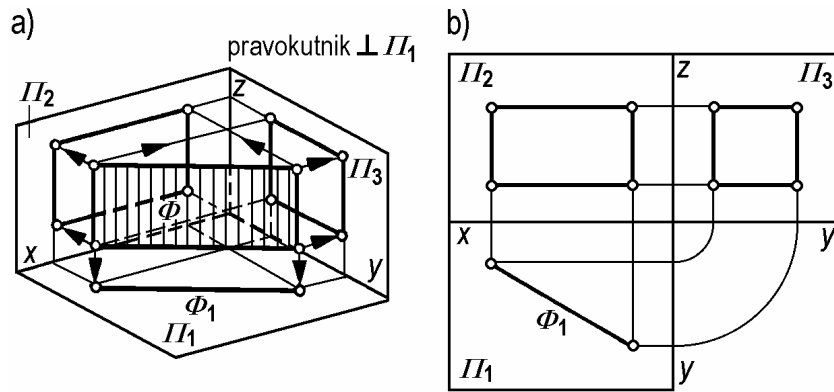
Slika 6.37. Projiciranje lika ravnine Φ paralelne s ravninom Π_1



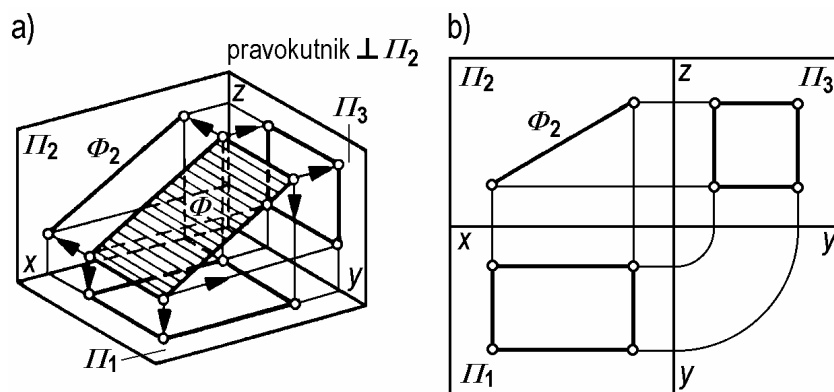
Slika 6.38. Projiciranje lika ravnine Φ paralelne s ravninom Π_2



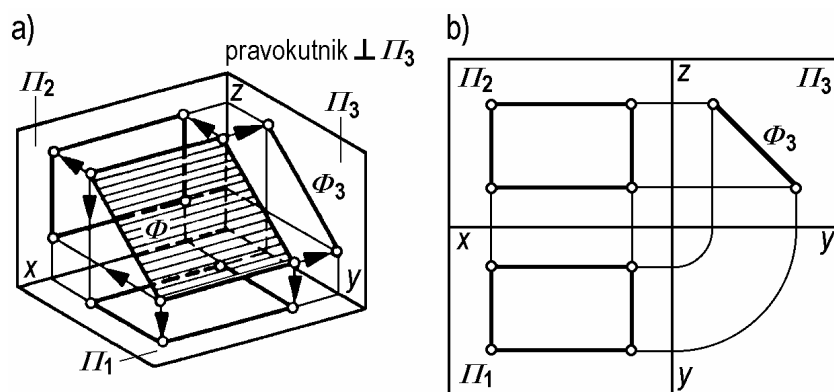
Slika 6.39. Projiciranje lika ravnine Φ paralelne s ravninom Π_3



Slika 6.40. Projiciranje lika ravnine Φ okomite na ravninom Π_1 , a kose u odnosu na ravnine Π_2 i Π_3



Slika 6.41. Projiciranje lika ravnine Φ okomite na ravninom Π_2 , a kose u odnosu na ravnine Π_1 i Π_3

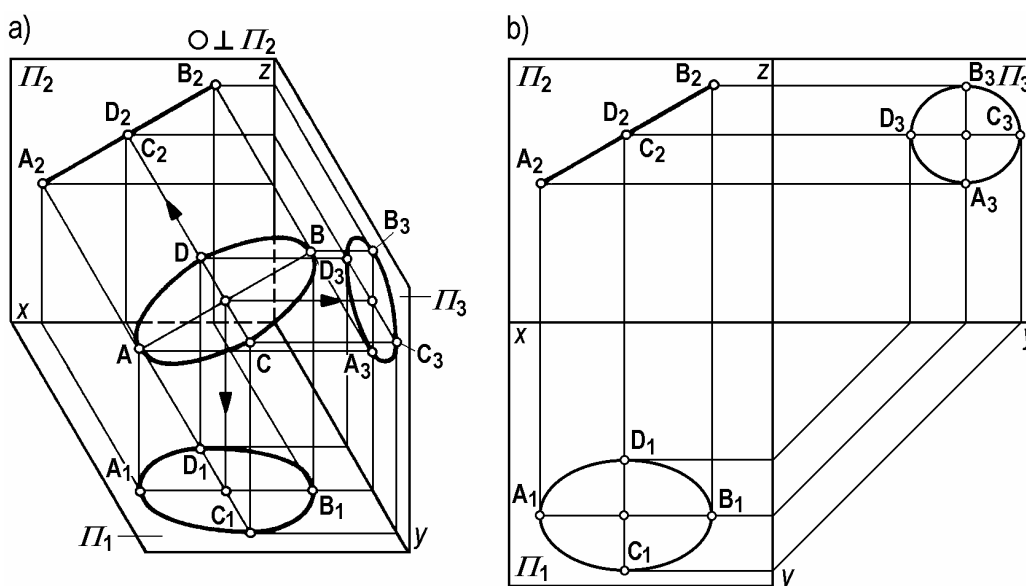


Slika 6.42. Projiciranje lika ravnine Φ okomite na ravninom Π_3 , a kose u odnosu na ravnine Π_1 i Π_2

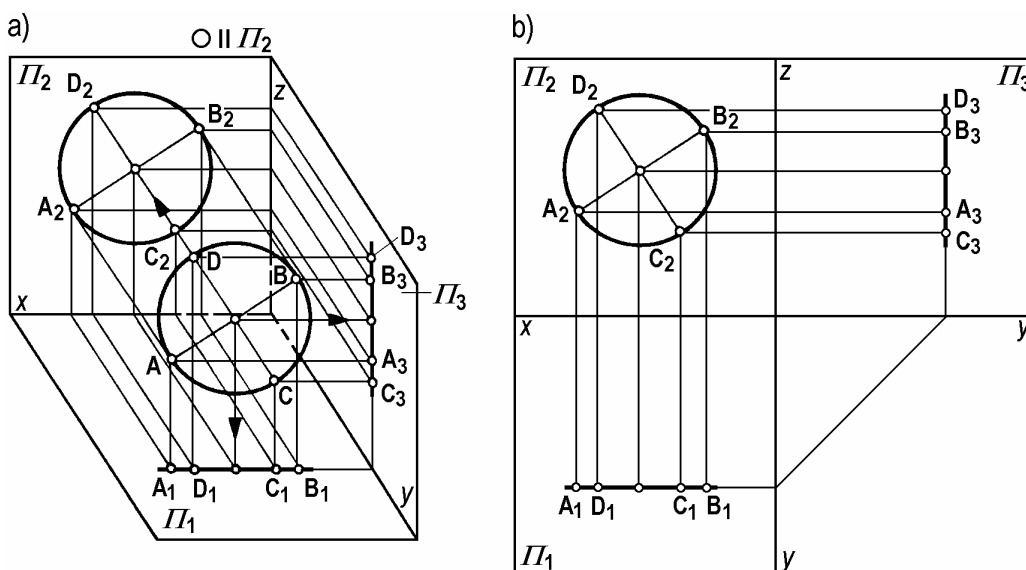
Na slici 6.43. predložena je kružnica u položaju okomitom na ravninu Π_2 , a na slici 6.44. u položaju paralelnom s ravninom Π_2 . Na ovim slikama dano je i njezino ortogonalno projiciranje na tri ravnine u prostoru.

Prema općim izloženim načelima ortogonalnog projiciranja na tri ravnine, pri projiciranju gleda se u tri smjera na predmet, a svaki je smjer gledanja okomit na jednu ravninu projekcija. U svakom smjeru gledanja dobiva se odgovarajuća projekcija na dotičnu ravninu projekcija iz koje će biti vidljive dvije dimenzije predmeta koji za vrijeme projiciranja miruje u prostoru. Postupak je identičan za

svaku karakterističnu točku predmeta. Projiciranjem na sve tri ravnine određuje se svaka pojedina ploha predmeta u sve tri projekcije i konačno se dobiva slika predmeta u tri projekcije.



Slika 6.43. Projiciranje kružnice okomite na ravninu Π_2



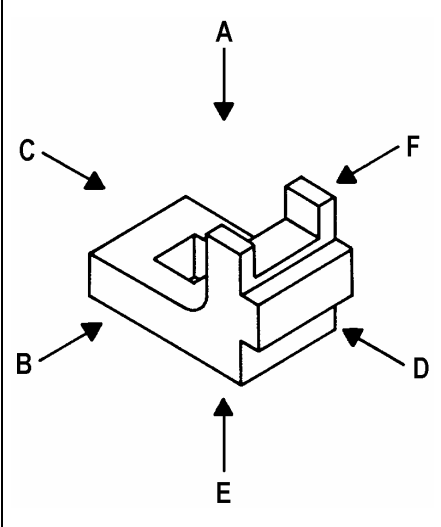
Slika 6.44. Projiciranje kružnice paralelne s ravninom Π_2

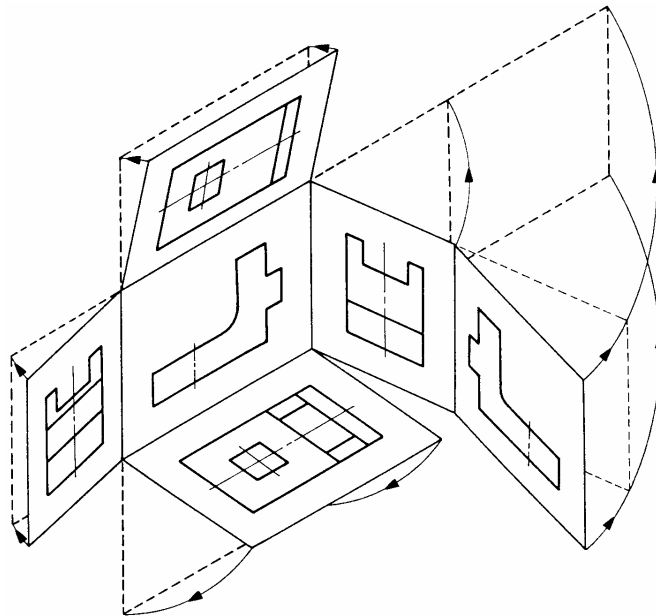
6.4.5. Smjerovi pogleda, nazivi i analiza projekcija

U dosadašnjem razmatranju prikazano je projiciranje predmeta na jednu, dvije ili tri ravnine projekcija. Međutim, predmet se može gledati s ukupno šest strana, okomito na ravnine koje ga tvore (ISO 128). Na taj se način dobivaju nove pravokutne projekcije. U tablici 6.3. dana je slika sa šest mogućih smjerova pogleda, označenih slovima A, B, C, D, E i F, te njihova veza s odgovarajućim

projekcijama. Ova se veza najlakše shvaća ako se neki predmet (npr. onaj sa slike u tablici 6.3.) zamisli usred pravilne prostorije ili prozirne kutije (šuplja prizma), pa ga se projicira na sve stijene odnosno stranice, tj. promatra ga se po već poznatim pravilima pravokutnog projiciranja odozgo, sprijeda, slijeva, zdesna, odozdo i straga, a da pri tome predmet ne mijenja svoj položaj. Na svakoj ravnini (vidi sliku 6.45. i tablicu 6.3.) dobit će se po jedna projekcija (pogled) u smjeru navedenih pogleda na predmet (slika u tablici 6.3.).

Tablica 6.3. Smjer gledanja i projekcije

	Smjer gledanja			Projekcija	
				Naziv	Oznaka
	1.	A	Pogled odozgo	Tlocrt	T
	2.	B	Pogled sprijeda	Nacrt	N
	3.	C	Pogled slijeva	Desni bokocrt (Bokocrt)	B
	4.	D	Pogled zdesna	Lijevi bokocrt (Drugi bokocrt)	B ₁
	5.	E	Pogled odozdo	Gornji tlocrt (Drugi tlocrt)	T ₁
	6.	F	Pogled straga	Stražnji nacrt (Drugi nacrt)	N ₁



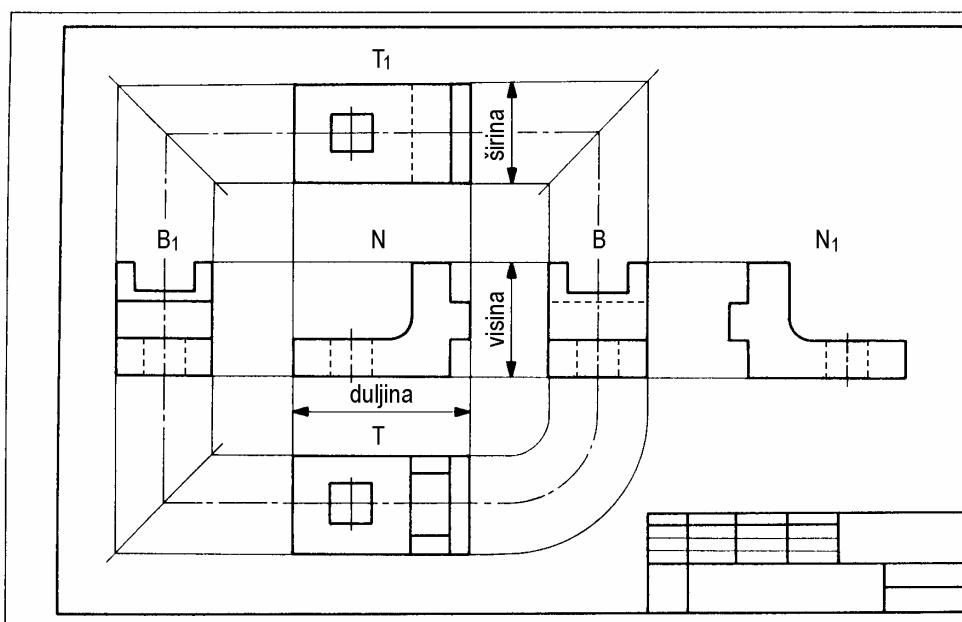
Slika 6.45. Zakretanje ravnina projekcija s odgovarajućim projekcijama predmeta prikazanog na slici u tablici 6.3. u ravninu nacrt (N) [18]

Ove međusobno okomite ravnine projekcija ili crtanja zovu se glavne ravnine crtanja. Dalje se može zamisliti da je prostorija ili kutija razrezana po

presječnicama stijena odnosno stranica i da su sve stijene ili stranice zakrenute prema slici 6.45. dok ne padnu u ravninu nacрта (N). Potpuno razvijene ravnine projekcija daju prikaz svih šest projekcija predmeta, koje moraju biti smještene na odgovarajućem formatu papira kao što je to prikazano na slici 6.46.

U konkretnom slučaju predmet je predložen sa šest projekcija na šest ravnina crtanja, što u većini slučajeva u praksi nije potrebno.

Kod tehničkog crtanja u strojarstvu udaljenosti predmeta od ravnine crtanja nemaju nikakvo značenje. S obzirom na to da se za položaj predmeta odabiru takvi položaji da njegove plohe i središnjice budu na neke ravnine crtanja okomite, a s drugima paralelne, projekcije okomitih ploha za odabrane položaje bit će crte paralelne s presječnicama ravnina crtanja. U slučaju pravilnog položaja, presječnosti će biti vodoravne i okomite, pa će i projekcije ploha okomitih na ravnine crtanja biti vodoravne i okomite. Budući da udaljenosti nemaju nikakvo značenje i da je spoznaja o okomitosti ploha moguća na osnovi njihovog vodoravnog i okomitog položaja projekcija bridova, potpuno se izostavljaju presječnosti ravnina crtanja. Na taj način pojednostavnjuje se slika jer se crta samo predmet. Na slici u sklopu tablice 6.3. predmet je nacrtan u izometrijskoj, a na slici 6.46. u ortogonalnoj projekciji na svih šest glavnih ravnina crtanja, na način koji je uobičajen u tehničkom crtanju (bez presječnica ravnina crtanja).



Slika 6.46. Raspored šest ortogonalnih projekcija (pogleda) na odgovarajućem formatu papira [18]

Na primjerima prikazanim na slikama 6.46., 6.47. i 6.48. treba uočiti pravila o podudaranju projekcija te izmjere¹¹ predmeta vidljive u pojedinim projekcijama.

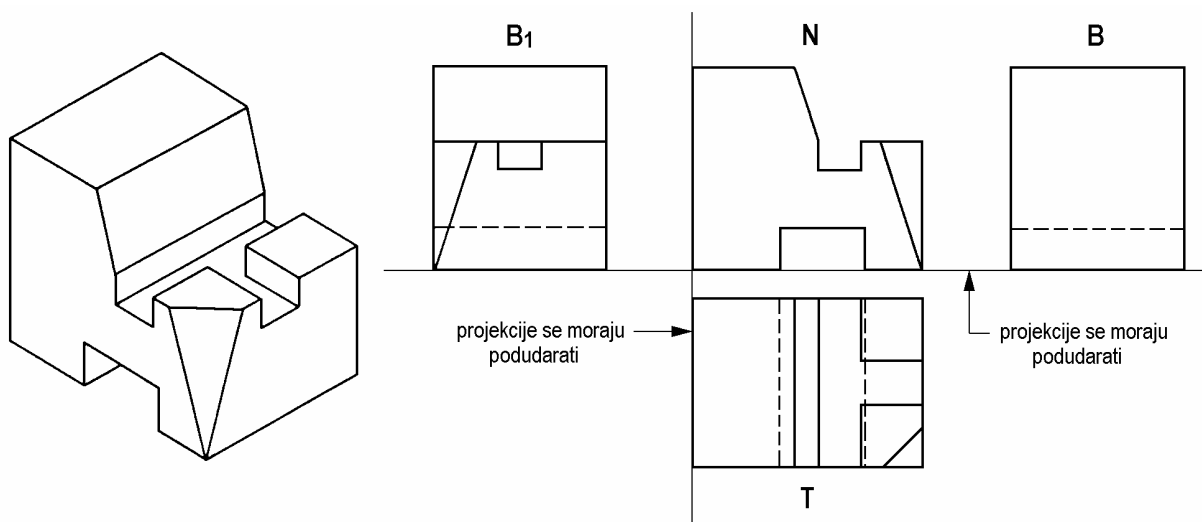
Podudaranje projekcija sastoji se u tome što spojnica projekcija iste točke (ordinala) u nacrtima i bokocrtima mora biti na horizontali koja je okomita na

¹¹ dimenzije

presječnice, a spojnica iste točke u nacrtu i tlocrtima mora biti na vertikali koja je također okomita na presječnice pripadajućih ravnina crtanja. Ovo pravilo vrijedi i za bridove i plohe: jedna projekcija u odnosu na drugu ne može se naći izvan horizontala odnosno vertikala krajnjih točaka promatranog brida ili plohe, tj. jedna projekcija u odnosu na drugu ne može biti pomaknuta s obzirom na to da predmet za vrijeme projiciranja miruje. Dakle, s koje se god strane predmet gleda po pravilima pravokutnog projiciranja, sve njegove točke, bridovi i plohe moraju se projicirati tako da se podudaraju.

U svakoj od spomenutih projekcija (tablica 6.3.) vidljive su dvije izmjere predmeta, s obzirom da je projekcija slika predmeta na ravnini koja ima samo dvije dimenzije. Ove izmjere su vidljive u više projekcija (svaka u četiri od šest nacrtanih projekcija) (slika 6.46.): duljina u nacrtima i tlocrtima, širina u tlocrtima i bokocrtima i visina u nacrtima i bokocrtima. Izmjera koja se vidi u više projekcija mora u svakoj od njih biti po veličini jednaka, a po smještaju između horizontala i vertikala, odnosno širina između tlocrta i bokocrta prenesena lukom ili na neki od načina prikazanih na slici 6.30. Nejednaka širina u tlocrtu i bokocrtu jedna je od najčešćih pogrešaka početnika!

Sve što vrijedi za cijeli predmet, vrijedi i za sve njegove dijelove, npr. njegove provrte, uvrte, upuste, ispuste, utore, ukrućenja i slično. Projekcije svih tih dijelova predmeta moraju se također podudarati, a iz nacrtanih projekcija moraju biti jednom ili više puta vidljive sve njihove izmjere.

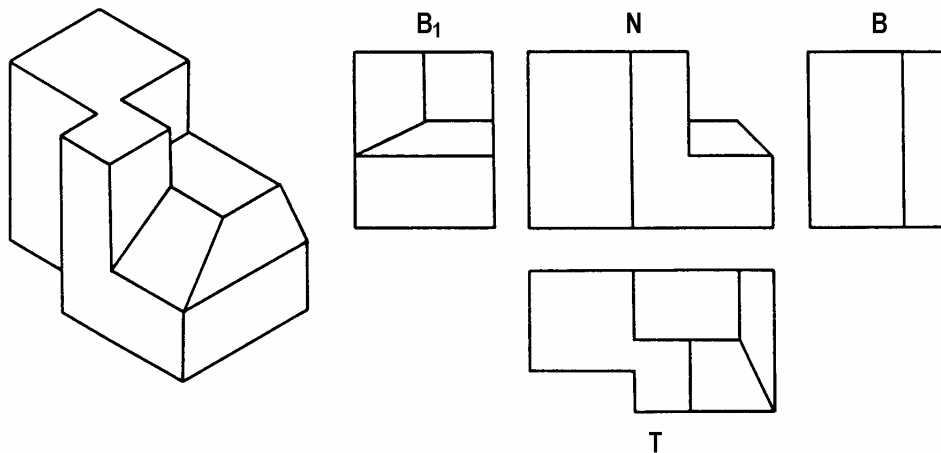


Slika 6.47. Projekcije nekog predmeta moraju se podudarati

Osim na šest glavnih ravnina crtanja (slike 6.45. i 6.46.), moguće je (po potrebi) na predmet gledati i u nekom sasvim drugom smjeru i projicirati viđeno na pomoćnu ravninu projekcija postavljenu okomito na smjer pogleda, a paralelno s plohom npr. kosog dijela predmeta. Smisao je ovog projiciranja dobivanje prave veličine promatranog dijela predmeta. Takve pomoćne ravnine projekcija zovu se

stranocrtne ravnine [6]. Na osnovi rečenog nameće se zaključak da, općenito gledano, postoji neograničen broj ravnina projekcija, a time i projekcija.

Glavne projekcije raspoređuju se na crtežu sukladno obrazloženom zakretanju ravnina crtanja (slike 6.46., 6.47. i 6.48.). Pogled straga (drugi nacrt) može se smjestiti nadesno (slika 6.46.) ili nalijevo, što ovisi o raspoloživom prostoru na crtežu.



Slika 6.48. Primjer predmeta u izometričnoj (lijevo) i četiri ortogonalne projekcije (desno)

Pri izboru smjera pogleda koji će definirati nacrt predmeta treba se rukovoditi sljedećim preporukama:

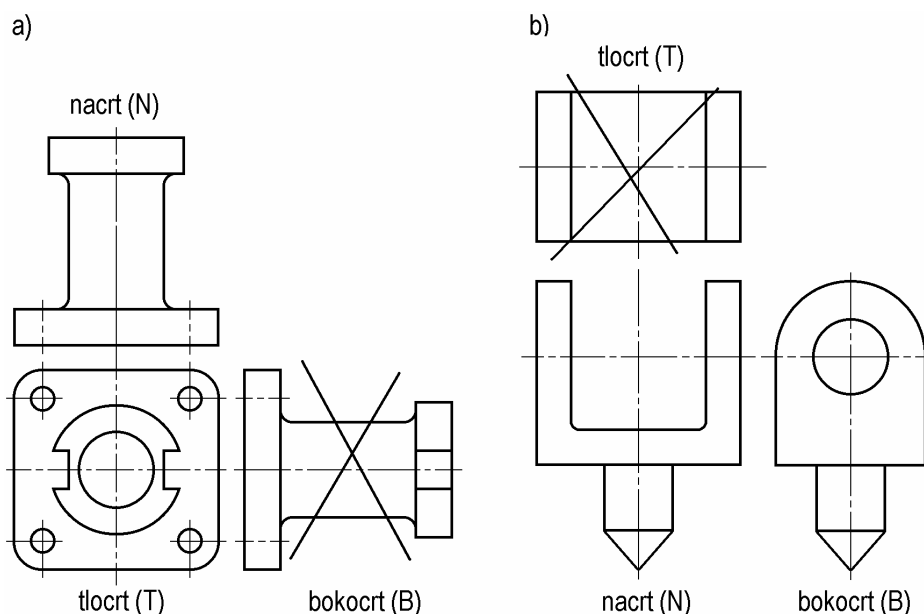
- a) Pri crtanju strojnih dijelova nacrt odabrati tako da on daje najviše podataka o obliku, izmjerama i ostalim značajkama dijela. Također treba voditi računa i o tome da je što manji broj bridova zaklonjen pogledima, odnosno da je što manje nevidljivih bridova.
- b) Pri crtanju strojnih sklopova nacrt odabrati tako da on uz primjenu presjeka omogući prikazivanje što većeg broja dijelova koji ulaze u sklop, kao i da pruži podatke o međusobnom položaju dijelova i njihovim vezama.
- c) Dio se crta ili u položaju koji on zauzima tijekom uporabe¹² ili u položaju koji zauzima u stroju prilikom njegove izrade.
- d) Sklop se najčešće crta u položaju koji on zauzima tijekom uporabe.

Na slikama 6.47. i 6.48. vidljivo je da se pri predočavanju predmeta u više projekcija ne crtaju spojnice odgovarajućih točaka (ordinale). Posebno treba voditi računa o tome da površina crteža bude ispunjena i da istodobno budu zadovoljeni i uvjeti koji osiguravaju ljepotu samog crteža, o čemu će u ovom udžbeniku još biti govora.

Projiciranjem na različite ravnine crtanja predočuju se iste plohe predmeta u različitim projekcijama. Kako će se predočiti pojedina ploha, ovisi samo o

¹² odnosno tijekom obavljanja funkcije za koju je proizveden

njezinom položaja u odnosu na promatranu ravninu crtanja (slike 6.46., 6.47. i 6.48.).



Slika 6.49. Primjer pogrešnog smještaja bokocрта uz tlocrt (a) i pogrešnog smještaja projekcije koja ne odgovara ispravnom smjeru pogleda (b).

Česte su pogreške početnika u nepravilnom smještaju projekcija i nepodudaranju istih ploha i bridova u različitim projekcijama. Iz prije izloženog o preklapanju ravnina crtanja slijedi da ista točka predmeta u tlocrtima i nacrtu mora biti u okomici, a u nacrtu i bokocrtima u horizontali (slike 6.46. i 6.47.). Također i sve jednake izmjere predmeta, vidljive u više projekcija, moraju u svim projekcijama biti jednake (slike 6.46., 6.47. i 6.48.). Na osnovi rečenog pogrešno je crtati bokocrt uz tlocrt (slika 6.49.a) ili smjestiti projekciju suprotno od smjera pogleda (slika 6.49.b).

Sve projekcije predmeta moraju biti na istom listu papira, a početnici ponekad u nedostatku mjesta (zbog lošeg planiranja!) okrenu list papira i na poledini crtaju pojedine projekcije. To je pogrešno jer se gubi pregled o podudaranju i otežava predodžba predmeta. U ovakvim slučajevima treba na istoj strani papira nastaviti list (produljeni format) i na tom nastavku nacrtati potrebnu projekciju koja se podudara s ostalim projekcijama predmeta.

6.4.6. Dimenzije i središnjice predmeta

Kako u nastavku ne bi dolazilo do zabune, potrebno je utvrditi što je na predmetu duljina l , što širina b , što visina h , a što središnjica. Ove dimenzije, koje ima svaki predmet ili dio predmeta, odnose se na položaj predmeta u kojemu se on crta. Budući da predmet miruje, položaj predmeta ostaje za vrijeme crtanja nepromijenjen.

Duljina l vodoravna je udaljenost krajnjih točaka u smjeru lijevo-desno, odnosno u smjeru osi x (slika 6.2, 6.27 i 6.46.). Širina b vodoravna je udaljenost krajnjih točaka u smjeru naprijed-natrag, odnosno u smjeru osi y . Visina h okomita je udaljenost krajnjih točaka predmeta u smjeru gore-dolje, odnosno u smjeru osi z .

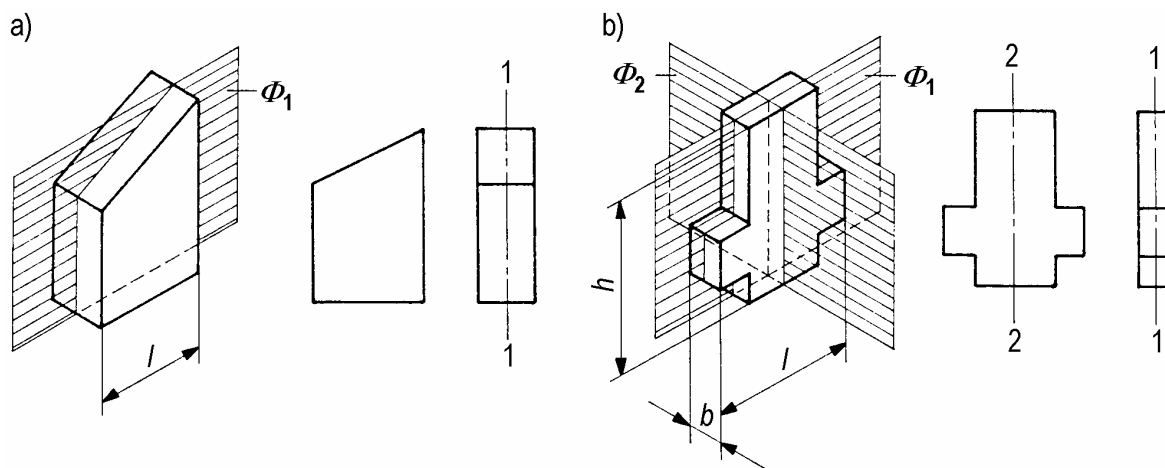
Budući da predmet za vrijeme projiciranja miruje i da su za taj položaj crtanja određene njegove dimenzije, to će se u pojedinim projekcijama vidjeti:

- duljine i visine u nacrtima, a projicira se u smjeru širine ili osi y ;
- duljine i širine u tlocrtima, a projicira se u smjeru visine ili osi z ;
- širine i visine u bokocrtima, a projicira se u smjeru duljine ili osi x .

Središnjice¹³ predmeta su osi koje prolaze sredinom predmeta i predstavljaju tzv. osnu simetriju (prostorna os simetrije).

Mnogi su strojni dijelovi simetrični, tj. mogu se ravninama podijeliti na dva jednaka dijela. Simetričnost se na crtežu označava simetralom¹⁴. Simetrala je presječna glavne ravnine crtanja s presječnom ravninom koja dijeli strojni dio na dva jednaka dijela (ravninska os simetrije).

Simetričnost se utvrđuje u smjeru dimenzija predmeta: ravnina simetrije postavlja se okomito na duljinu (u smjeru ravnine $\Phi_2 = \Pi_3 = yz$; slike 6.2 i 6.51.), okomito na širinu (u smjeru ravnine $\Phi_1 = \Pi_2 = xz$; slike 6.2, 6.50. i 6.51.) ili okomito na visinu (u smjeru ravnine $\Phi_3 = \Pi_1 = xy$; slike 6.2 i 6.51.). Prema tome predmet može biti najviše trostruko simetričan jer ima tri dimenzije.



slika 6.50. Jednostruko (a) i dvostruko (b) simetričan predmet [18]

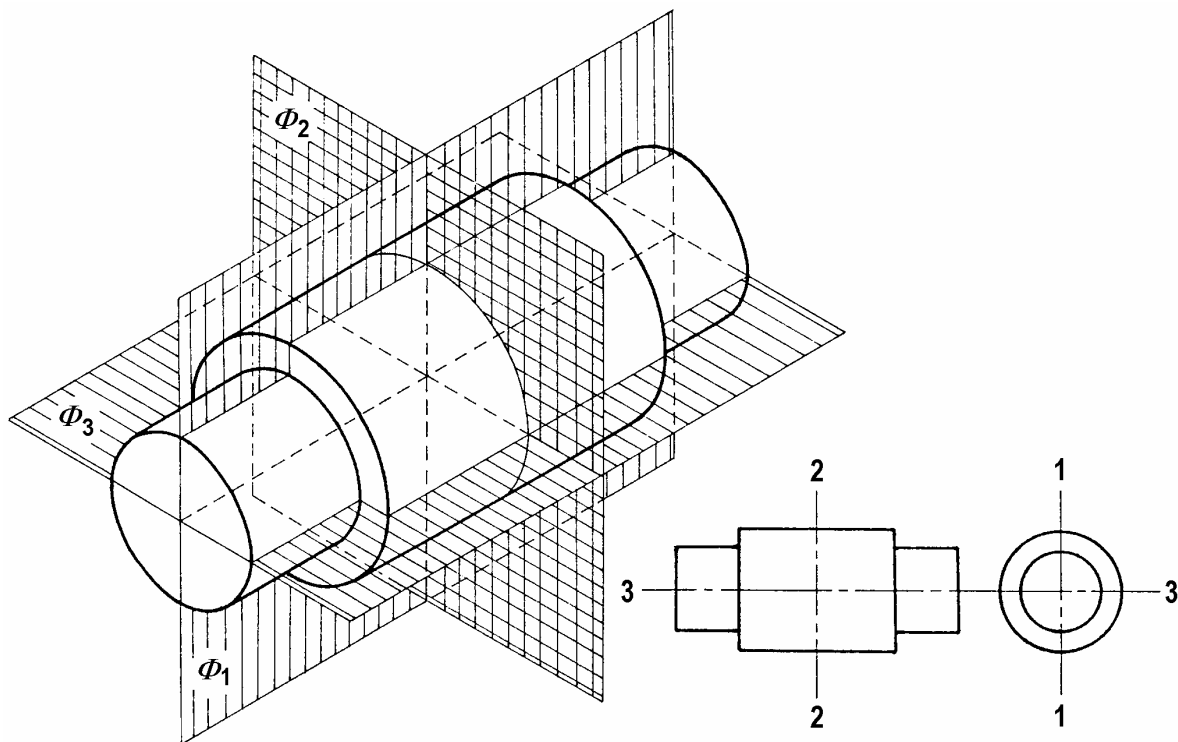
Simetričnost po duljini (okomito na duljinu) predočava se okomitom simetralom u nacrtima i tlocrtima jer simetrala mora biti okomita na duljinu u svim projekcijama gdje se duljina vidi u pravoj veličini.

¹³ Središte (*grčki* centrum) je središnja točka nekih odnosa u liku (npr. težište) [26].

¹⁴ Simetrala (*grčki* syn = s, sa; metron = mjera) je os simetrije, tj. pravac koji dijeli dužinu ili kut na dva jednaka dijela [26].

Simetričnost po širini (okomito na širinu) predočava se vodoravnim simetralom u tlocrtima, odnosno okomitom simetralom u bokocrtima, jer simetrala mora biti okomita na širinu u svim projekcijama gdje se širina vidi u pravoj veličini.

Simetričnost po visini (okomito na visinu) predočava se vodoravnim simetralom u nacrtima i bokocrtima jer simetrala mora biti okomita na visinu u svim projekcijama gdje se visina vidi u pravoj veličini.



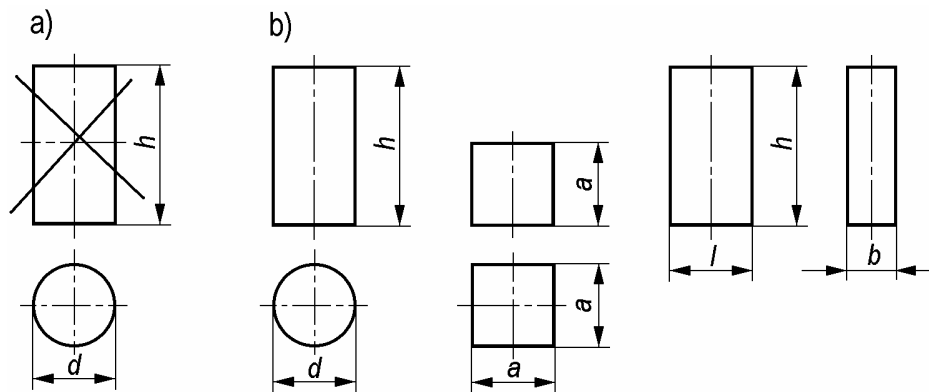
slika 6.51. Trostruko simetričan predmet [18]

Jednostruko simetričan predmet prikazan je na slici 6.50.a. Radi se o simetričnosti samo po širini ravninom Φ_1 , pa dobiva samo jednu simetralu 1-1 u ortogonalnoj projekciji (bokocrtu).

Dvostruko simetričan predmet prikazan je na slici 6.50.b. Radi se o simetričnosti po širini ravninom Φ_1 i simetričnosti po duljini ravninom Φ_2 , pa dobiva dvije simetrane u ortogonalnoj projekciji (1-1 u bokocrtu i 2-2 u nacrtu).

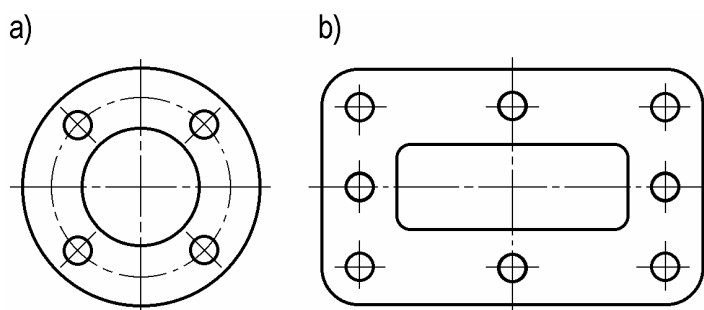
Rotacijski predmet prema slici 6.51. može se podijeliti na dvije jednake polovine: po duljini ravninom Φ_2 na lijevu i desnu polovinu, po širini ravninom Φ_1 , na prednju i stražnju polovinu, te po visini ravninom Φ_3 na gornju i donju polovinu. Prema tome, prikazani predmet trostruko je simetričan, pa u ortogonalnoj projekciji dobiva tri simetrane: za simetričnost po duljini simetralu 2-2 u nacrtu (i tlocrtu), za simetričnost po širini simetralu 1-1 u bokocrtu (i tlocrtu) i za simetričnost po visini simetralu 3-3 u nacrtu i bokocrtu, tj. uvijek okomito na dimenziju po kojoj je predmet simetričan.

Uobičajeno je da se simetrala crta i za sve dijelove predmeta koji su simetrični, npr. provrti, utori, ojačanja (rebra) i slično. Koja će se središnjica uporabiti, ovisi o projekciji u kojoj se dio predmeta prikazuje.



Slika 6.52. Kod često rabljenih geometrijskih tijela simetrala po visini se ne crta (a), već se crta samo simetrala po duljini i širini (b)

Pri crtanju središnjica kod geometrijskih tijela koja se često susreću pri oblikovanju strojnih dijelova (npr. kocke, prizme i valjci) postoji stanovito odstupanje. Naime, sve su to trostruko simetrični predmeti pa se baš zbog njihove česte primjene simetrala po visini (tj. vodoravna simetrala u nacrtima i bokocrtima) ne crta (slika 6.52.a), već se crta samo simetrala za simetričnost po duljini i širini (slika 6.52.b).



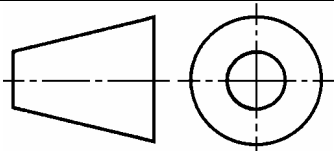
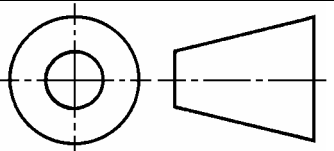
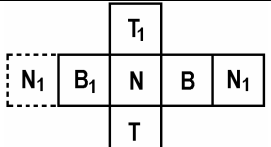
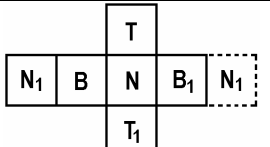
Slika 6.53. Simetrale kod rotacijskih predmeta (a - kružne i radijalne) i kod četvrtastih predmeta (b - horizontalne i vertikalne)

Kružnice (npr. provrti) imaju dvije međusobno okomite simetrale koje moraju prijeći konturnu crtu za oko 2 do 3 mm. Za manje kružnice i provrte simetrala se crta neprekidnom uskom crtom 01.1.7, a ne crtom 04.1.1 (vidi u točki 7.5., tablica 7.10.). U slučaju rotacijskih predmeta simetrale će biti kružne i radijalne (slika 6.53.a), a u slučaju četvrtastih predmeta vodoravne i okomite (slika 6.53.b).

6.4.7. Metode projiciranja 1. i 3. kvadranta

Do sada promatran način projiciranja i pravila ortogonalne projekcije s gledišta nacrtne geometrije primjenjuju se gotovo u cijelom svijetu, izuzev u SAD-u i u nekim europskim zemaljama (Velika Britanija, Nizozemska). U tim zemljama uveden je u tehničkom crtanju nešto drukčiji način projiciranja. Prvi način projiciranja poznat je prema ISO 5456-2 kao **metoda projiciranja 1. kvadranta** (prije: europski način projiciranja, metoda E), a drugi kao **metoda projiciranja 3. kvadranta** (prije: američki način projiciranja, metoda A). Osnovne značajke jednog i drugog dane su u tablici 6.4.

Tablica 6.4. Značajke metode projiciranja 1. i 3. kvadranta (ISO 5456-2)

Značajka	Metoda projiciranja 1. kvadranta	Metoda projiciranja 3. kvadranta
Simbol na crežima		
Raspored projekcija		

Kod metode projiciranja 1. kvadranta predmet se nalazi između ravnine crtanja i crtača (vidi strelice na slici 6.54.a), a kod metode projiciranja 3. kvadranta ravnina crtanja je između crtača i predmeta (vidjeti strelice na slici 6.55.a). Ako se zamisli da je ravnina crtanja prozirna, pogled na predmet kroz ovakvu ravninu dat će na ravnini projekciju prema metodi projiciranja 3. kvadranta. Dakle, na ravnini crtanja prikazuje se onaj dio predmeta koji je bliži ravnini crtanja.

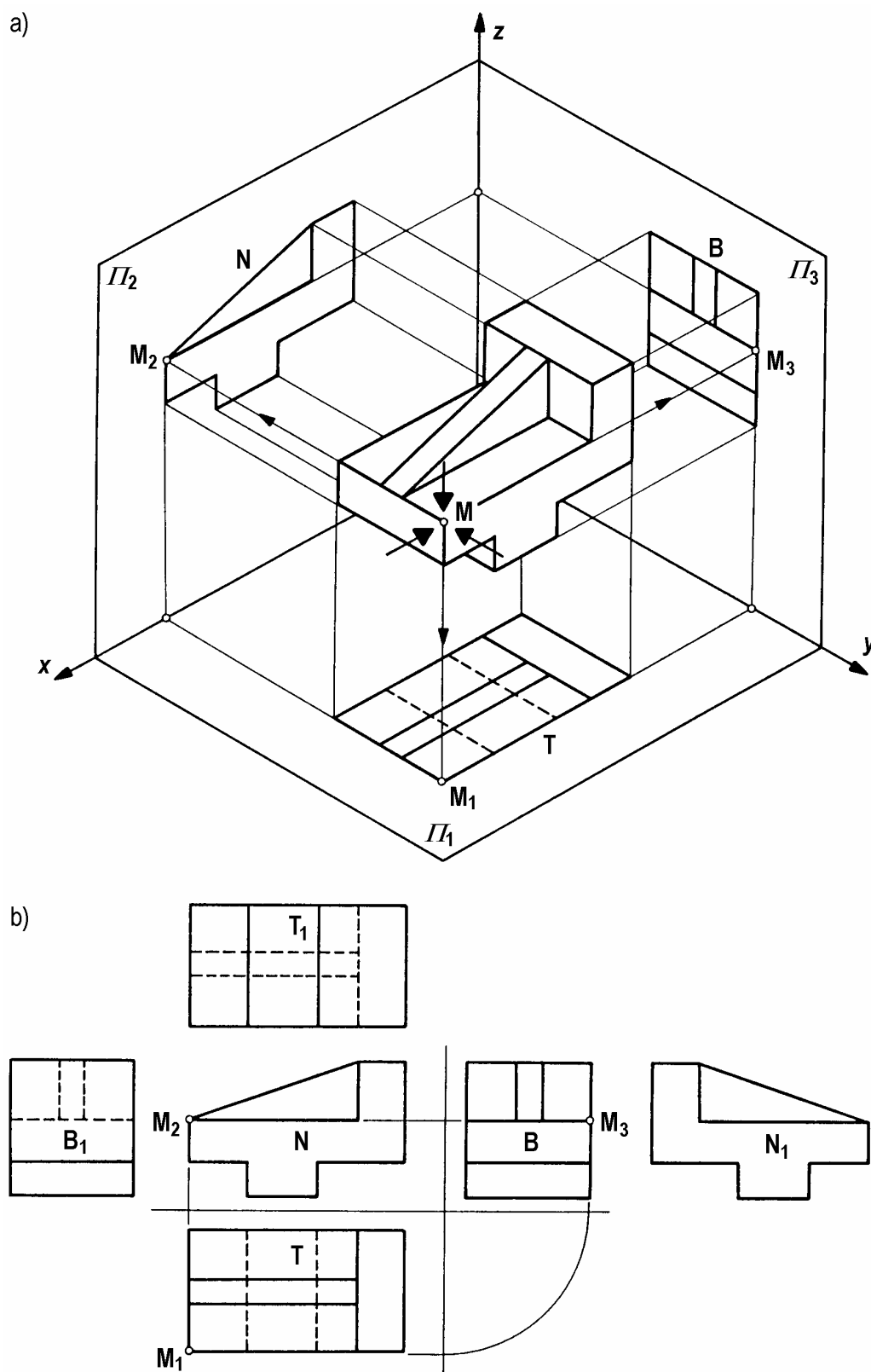
Raspored projekcija kod metode projiciranja 1. kvadranta prikazan je na primjeru danom na slici 6.54.b.

Raspored projekcija kod metode projiciranja 3. kvadranta prikazan je na primjeru danom na slici 6.55.b.

U oba slučaja (prema tablici 6.4.) drugi nacrt N_1 može imati dva položaja u rasporedu, što ovisi o raspoloživom prostoru na crtežu.

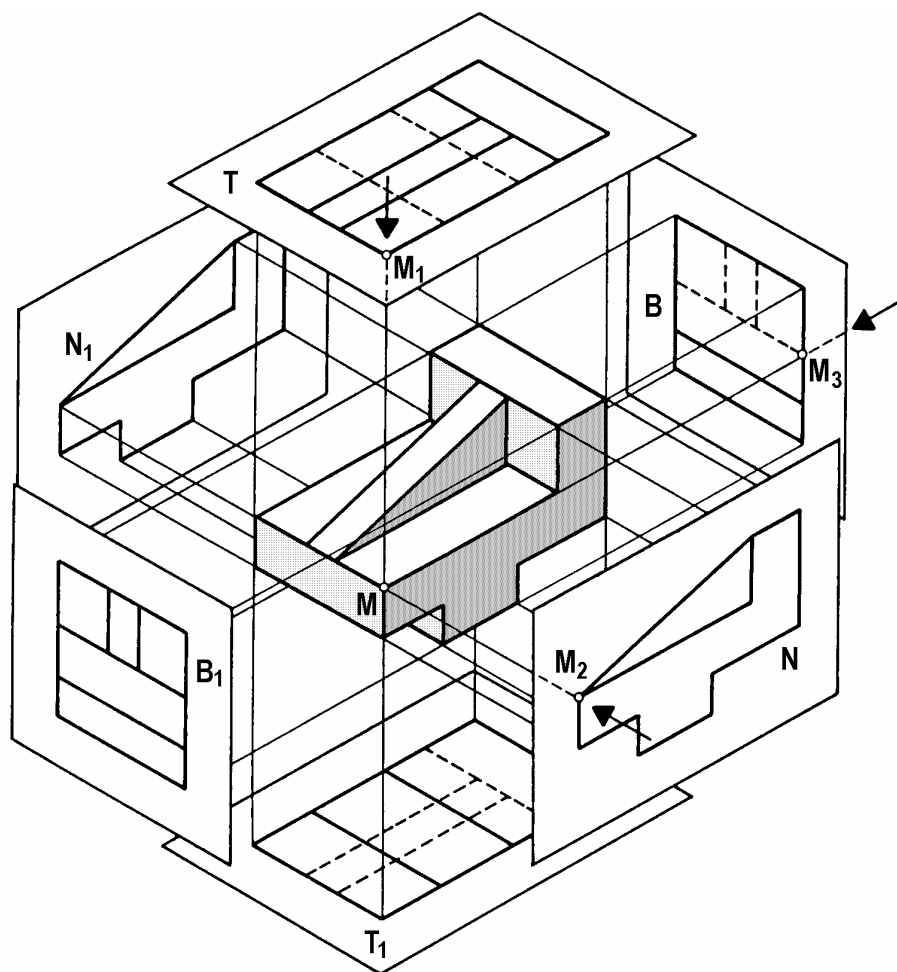
Na slikama 6.54. i 6.55. dan je i primjer projiciranja točke M na predmetu, te njezine projekcije M_1 (u tlocrtu T), M_2 (u nacrtu N) i M_3 (u bokocrtu B). Strelice uz točku M predstavljaju položaj očiju crtača i smjer pogleda.

Tehnički crteži namijenjeni inozemstvu u kojima je primijenjena metoda projiciranja 1. kvadranta, odnosno tehnički crteži u kojima je primijenjena metoda projiciranja 3. kvadranta, obvezatno imaju simbol prema tablici 6.4. - krnji kružni stožac u dvije projekcije (nacrtu i bokocrtu). Ovaj se simbol obično smješta u zaglavlje (sastavnicu) crteža, blizu oznake mjerila (vidi točku 7.3., slike 7.41. i 7.42.).

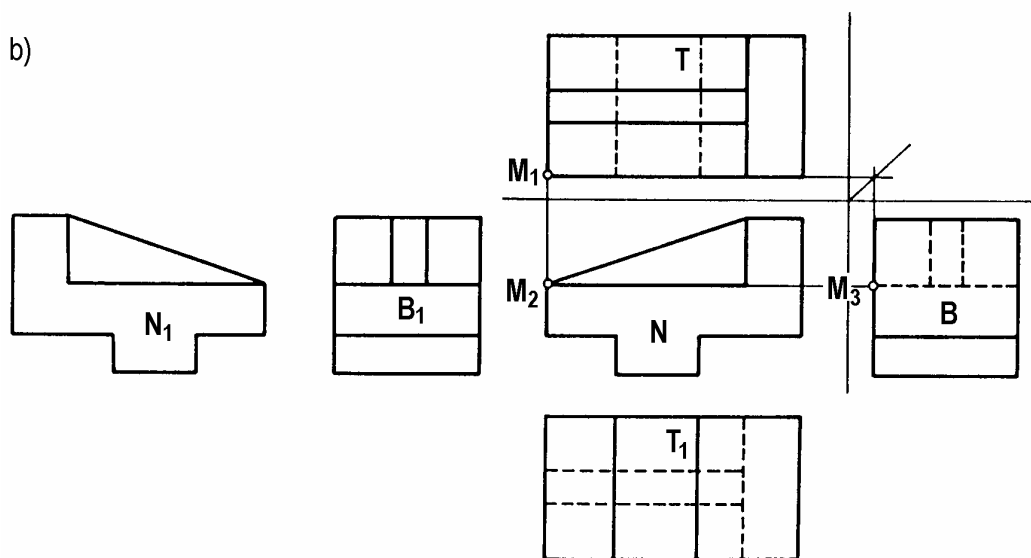


Slika 6.54. Metoda projiciranja 1. kvadranta predmeta koji se nalazi u 1. kvadrantu (a) i raspored projekcija kod ove metode projiciranja (ISO 5456-2) (a) [10, 18]

a)



b)



Slika 6.55. Metoda projiciranja 3. kvadranta predmeta koji se nalazi unutar 3. kvadranta (a) i raspored projekcija kod ove metode projiciranja (ISO 5456-2) (a) [10, 18]

Usporedbom jednog i drugog načina projiciranja uočava se da je metoda projiciranja 3. kvadranta logičnija, a ima i prednost kod duljih predmeta. Logičnost

je u tome što je pogled zdesna prikazan desno, a pogled slijeva lijevo. Spomenuta prednost kod projiciranja vrlo dugih predmeta je u tome što se u pojedinoj projekciji predočava ona strana koja je bliža ravnini crtanja. Međutim, mali broj dugačkih predmeta, navika i podudaranje s pravilima nacrtne geometrije govori u prilog europskom načinu projiciranja.

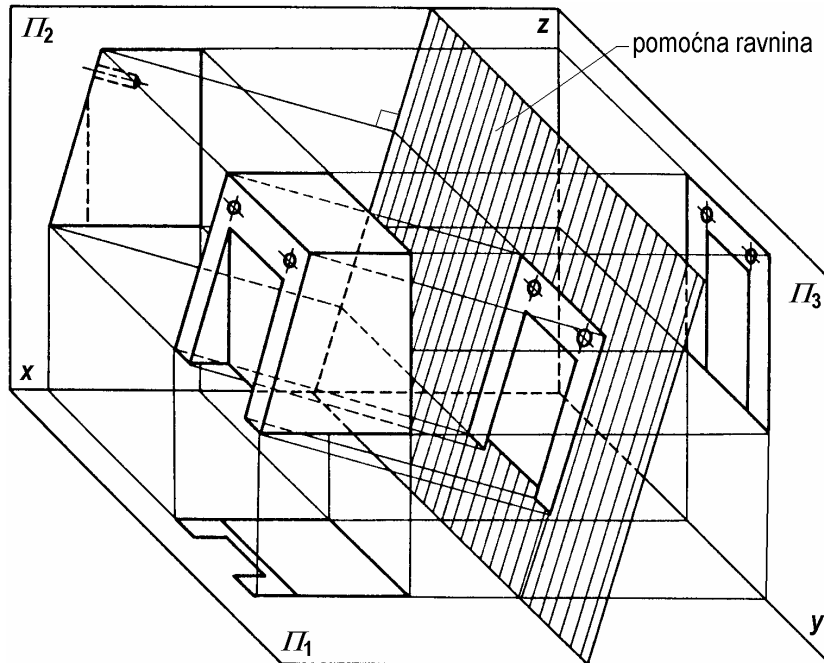
6.5. Osnovna pravila za predočavanje oblika

6.5.1. Položaj u kojemu se predmet crta

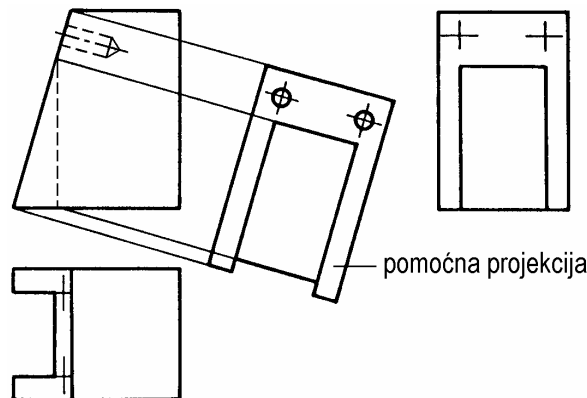
Poznavanje samo osnova ortogonalnog projiciranja nije dovoljno za potrebe tehničkog crtanja. Praktična primjena zahtijeva da se posao crtača maksimalno olakša i da se predmet predoči što jednostavnije i zornije. Jedan od najvažnijih utjecaja na jednostavnost, zornost i praktičnost crteža ima položaj u kojemu se predmet crta. Pri definiranju ovog položaja treba voditi računa o sljedećim uvjetima [6, 18]:

- a) ***Predmet treba postaviti u takav položaj da su njegove plohe i središnjice paralelne i okomite na glavne ravnine crtanja.*** Prednost ovakvog položaja očituje se u tome da se plohe paralelne s ravninom crtanja predočavaju u naravnoj veličini, a plohe okomite na ravninu crtanja kao dužine. Na taj se način kod često upotrebljavanih rotacijskih tijela izbjegava crtanje elipsa, nejasna slika kod kosog položaja predmeta, teže crtanje i slično.
- b) ***Predmet treba postaviti u onaj položaj u kojemu stoji u naravi, ali uz zadovoljenje uvjeta pod a).*** U slučaju da predmet u naravi ima kosi položaj, odstupa se od ovog uvjeta i treba zadovoljiti uvjet naveden pod a), jer je u tehničkom crtanju važnije pravilno i jednostavno predočavanje od naravnog položaja predmeta.
- c) ***Predmeti koji u naravi od slučaja do slučaja zauzimaju različite položaje (npr. svornjaci, vijci, podloške, ručice, poluge, matice i slično) postavljaju se obično u položaj u kojemu se izrađuju ili u uspravan položaj.*** U ovom će se slučaju npr. vijak crtati obično u uspravnom položaju s glavom prema dolje, a neka pločica s uvrtnom (ne s provrtnom!) u položaju u kojemu je otvor rupe s gornje strane jer se pretpostavlja da će se rupa ubušiti bušilicom s gornje strane.
- d) ***Od svih mogućih pravilnih položaja odabrati onaj u kojemu će se vidjeti najviše ploha i bridova predmeta u smjeru pogleda, a s ciljem da se izbjegne crtanje nevidljivih bridova.*** Crtanjem nevidljivih bridova pomoću tzv. crtkanih uskih crta (crta 02.1.1, tablica 7.10.) crtež postaje manje pregledan, a često i nejasan.
- e) Ako predmet (osim paralelnih i okomitih ploha na ravnine crtanja) ima i kose plohe, tada ih treba projicirati na pomoćne ravnine koje se postavljaju paralelno s njima. Točno projiciranje ne bi dalo zornu sliku, a promatrana ploha ne bi se mogla dimenzionirati jer bi pojedine dimenzije pri točnom projiciranju na glavne ravnine bile skraćene. Stoga se pomoćna ravnina

postavlja paralelno kosoj plohi radi dobivanja njezine naravne veličine i oblika. Smjer pogleda i položaj pomoćne ravnine crtanja prikazan je na slici 6.56. Na slici 6.57. nacrtan je nacrt, tlocrt, bokocrt i pomoćna projekcija predmeta sa slike 6.56. Iz prikaza je vidljivo da točan tlocrt i bokocrt ne daju prikladnu sliku te da su pravilni odnosi vidljivi samo iz projekcije na pomoćnu ravninu – pomoćne projekcije.



Slika 6.56. Projiciranje kose plohe predmeta na pomoćnu ravninu crtanja paralelnu s njom



Slika 6.57. Pomoćna projekcija kose plohe položena u istu ravninu u kojoj su smješteni nacrt, tlocrt i bokocrt

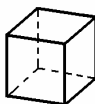





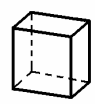











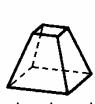





6.5.2. Izbor i broj projekcija



















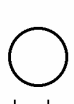




S obzirom na to da je svaka ravnina projiciranja dvodimenzijska, u svakoj će projekciji biti vidljive dvije dimenzije promatranog predmeta. Ako se želi predočiti neki trodimenzijski predmet, on se mora crtati u više projekcija kako bi sve

njegove dimenzije bile vidljive. Pri tome se neke dimenzije ponavljaju (vidi sliku 6.46.), tj. visina predmeta bit će vidljiva u nacrtu i bokocrtu, duljina u nacrtu i tlocrtu, a širina (debljina) u tlocrtu i bokocrtu. Iste dimenzije moraju biti jednake u svim projekcijama.

Sve nacrtane projekcije moraju dati potpunu predodžbu o obliku predmeta te ih stoga treba crtati u dovoljnom broju kako bi bio zadovoljen ovaj zahtjev. Iz toga se razloga ne može reći da su za predodžbu nekog predmeta potrebne dvije ili tri projekcije. Broj projekcija mora biti takav da je oblik predmeta potpuno zorno definiran. U svakoj projekciji mora biti vidljivo nešto novo, što na ostalim projekcijama još nije predočeno. Projekciju u kojoj se ne vidi ništa novo nije potrebno ni crtati jer je suvišna.

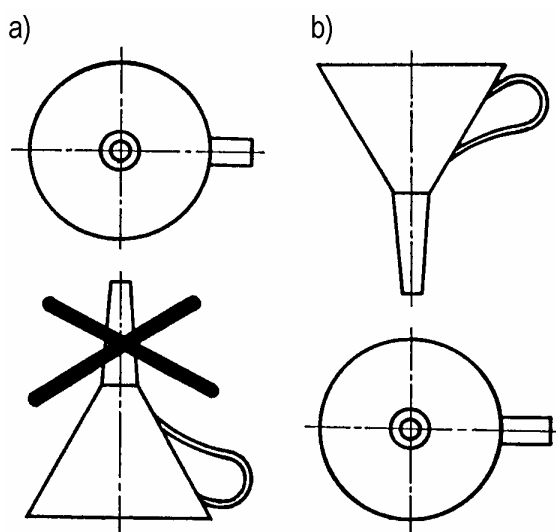
Tablica 6.5. Temeljni oblici tijela u dimetrijskoj i ortogonalnoj projekciji

Temeljni oblik tijela	Ortogonalna projekcija			
	Tri projekcije		Potreban broj projekcija	
 kocka				
				
 prizma				
				
 piramida				
				
 krnja piramida				
				

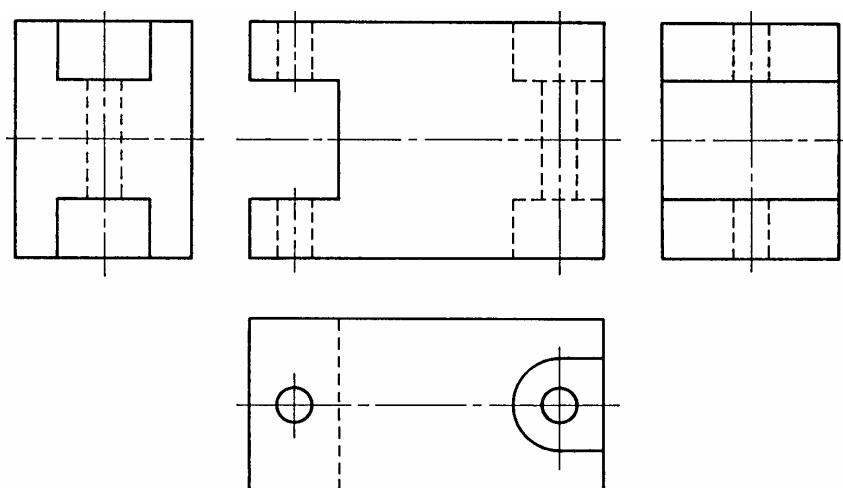
Temeljni oblik tijela	Ortogonalna projekcija			
	Tri projekcije		Potreban broj projekcija	
 valjak				
				
 stožac				
				
 krnji stožac				
				
 kugla				
				

U tablici 6.5. predočeni su temeljni oblici tijela u dimetrijskoj i ortogonalnoj projekciji. Za svako tijelo dane su tri glavne ortogonalne projekcije (N - nacrt, T - tlocrt i B - bokocrt) te potreban broj projekcija da bi oblik promatranog tijela bio potpuno određen. Kod predodžbe u tri ortogonalne projekcije vidljivo je da su kod većine predočenih tijela po dvije projekcije potpuno jednake, a s obzirom na to da jedna od njih ne pokazuje ništa novo, može se izostaviti kao suvišna. U slučaju da se želi odabrati povoljan i pravilan položaj predmeta za nacrt, odabrat će se onaj položaj u kojem se vidi najviše od predmeta. Tako npr. nacrt predmeta na slici 6.58.a [6] ne predstavlja karakterističan položaj predmeta i ne omogućava njegovo

lako prepoznavanje, pa takav položaj nije dobro odabrati za nacrt. Pravi položaj za nacrt ovog predmeta prikazan je na slici 6.58.b.



Slika 6.58. Nepravilan (a) i pravilan (b) položaj predmeta za nacrt (položaj nacrt mora biti takav da se iz njega predmet može prepoznati) [6]



Slika 6.59. Primjer predmeta za čiju je zornu predodžbu zbog utora, ureza i provrta potreban veći broj projekcija

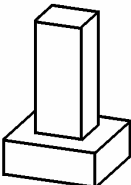
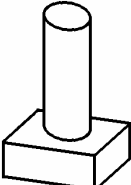
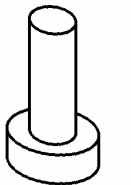
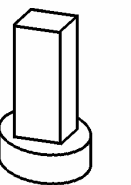
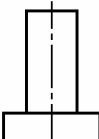
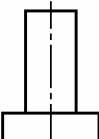
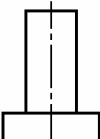
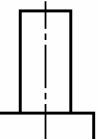
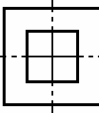
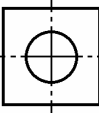
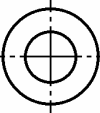
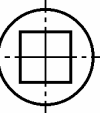
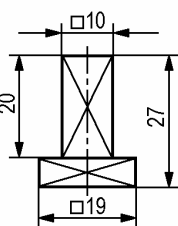
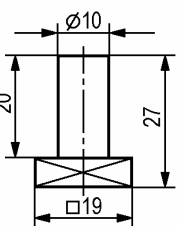
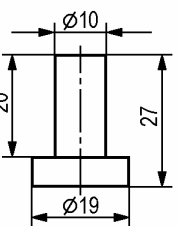
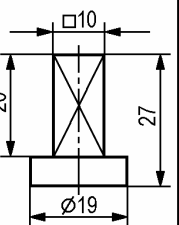
Ako je za prikazivanje nekog predmeta dovoljna samo jedna projekcija, poželjno je da to bude nacrt. Kod predmeta kod kojih su za prikazivanje potrebne dvije projekcije, jedna od njih je obvezatno nacrt u položaju u kojem se vidi najviše od predmeta, a druga može biti tlocrt ili jedan od bokocrta. Kada je predmet vrlo složenog oblika i zahtijeva više projekcija za svoje predočavanje, jedna projekcija mora biti nacrt, a ostale mogu biti bilo koje od glavnih i pomoćnih projekcija (što ovisi o obliku predmeta).

Iz tablice 6.5. vidljivo je da su za predočavanje temeljnih oblika tijela dovoljne dvije projekcije, međutim ima predmeta kod kojih zbog njihovog složenog oblika neće biti dovoljno ni svih šest glavnih projekcija, već se moraju crtati i pomoćne

projekcije. Tako npr. postojanje utora, ureza, provrta i slično uvjetuje crtanje većeg broja projekcija (vidi predmet na slici 6.59.).

U tablici 6.6. prikazana su četiri različita predmeta koja imaju potpuno jednak nacrt, na osnovi kojega bi se bez tlocrta teško zaključilo o kakvom se obliku predmeta radi. Međutim, uz neka pravila tehničkog crtanja (kotiranje, dopunske oznake, dijagonalne crte ravnih ploha i sl.) ipak je moguće ove predmete potpuno definirati samo nacrtom.

Tablica 6.6. Primjeri jednakih nacrti kod različitih geometrijskih oblika predmeta

Primjeri različitih geometrijskih oblika predmeta				
Dimetrijska projekcija				
				
				
				

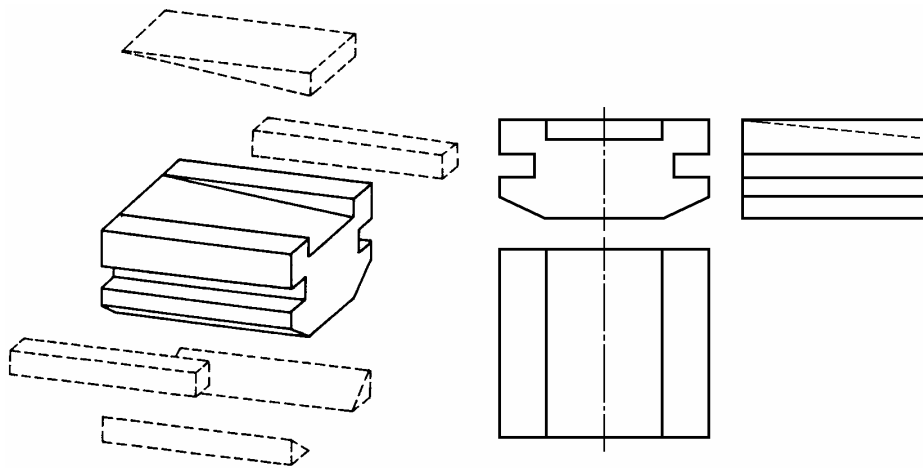
6.5.3. Zamišljeno rastavljanje predmeta na temeljne oblike tijela

Strojni dijelovi moraju biti tako konstruirani da njihov oblik omogućava lako oblikovanje i laku obradu. Ovaj će se uvjet zadovoljiti ako se za temeljne oblike odaberu pravac i kružnica. Temeljni oblik po pravcu lako se može obraditi pravocrtnim gibanjem alata ili strojnog dijela¹⁵, a temeljni oblik po kružnici može se lako obraditi rotacijskim gibanjem alata ili strojnog dijela. Svaki drugi temeljni oblik strojnog dijela, npr. po paraboli ili hiperboli, prouzročit će stanovite teškoće pri izradi i dodatne troškove.

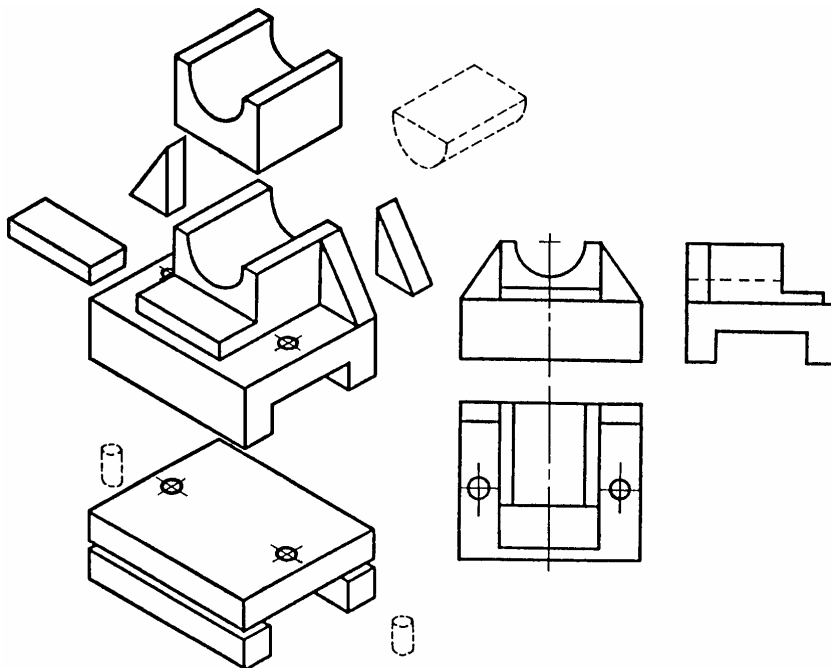
Uz pridržavanje navedenog načela strojni dijelovi uglavnom će biti sastavljeni

¹⁵ u tom slučaju kao izradka

od pojedinih temeljnih tijela predočenih u tablici 6.5. Složeni strojni dijelovi u mislima se mogu rastaviti na temeljna tijela kojima je osnova pravac (kocka, prizma, piramida, krnja piramida) i na temeljna tijela kojima je osnova kružnica (valjak, stožac, krnji stožac, kugla). Gotovo svi strojni dijelovi u strojarstvu zaista imaju navedene temeljne oblike, međusobno različito povezane u cjelinu, pa ih pri crtanju treba raščlaniti tako da se lakše mogu predočiti. Ovaj pristup primjenjuju računalni programi za crtanje.



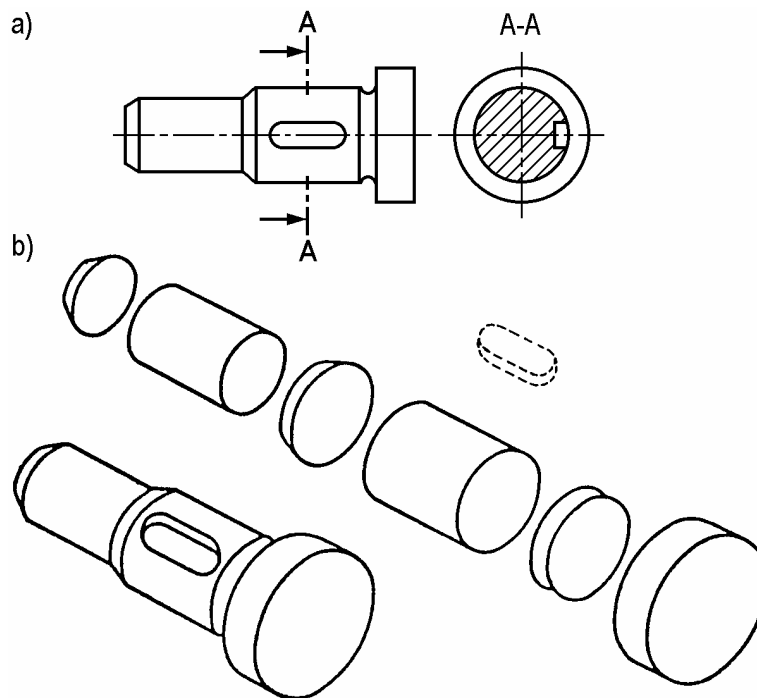
Slika 6.60. Primjer oblikovanja strojnog dijela oduzimanjem temeljnih tijela (izrezivanjem) [6]



Slika 6.61. Primjer oblikovanja strojnog dijela oduzimanjem i dodavanjem temeljnih tijela [6]

Na slikama 6.60., 6.61. i 6.62. prikazani su primjeri strojnih dijelova kod kojih je zamišljeno rastavljanje na temeljna tijela. Analizom navedenih primjera može se zaključiti da su moguća dva načela oblikovanja željenog strojnog dijela. Prvi se sastoji u oduzimanju temeljnih tijela (izrezivanju) (tijela nacrtana crtkanom crtom),

a drugi u dodavanju temeljnih tijela (tijela nacrtana punom crtom). Kombiniranjem tih dvaju načela (slike 6.61. i 6.62.) može se doći do bilo kojeg željenog oblika.



Slika 6.62. Primjer oblikovanja strojnog dijela oduzimanjem i dodavanjem temeljnih tijela

6.6. Presjeci

6.6.1. Crtanje presjeka

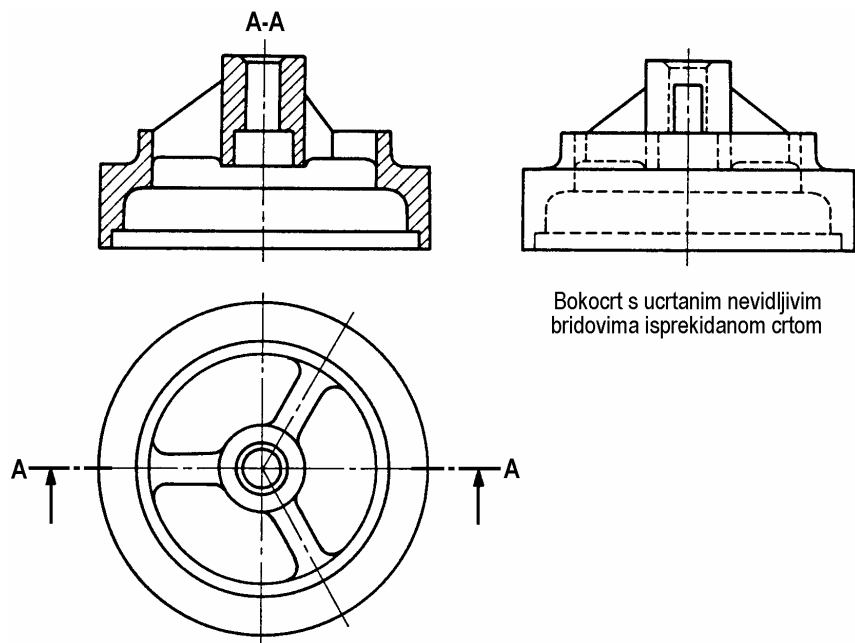
Strojni dijelovi nisu uvijek puni, već često imaju stanovite šupljine (npr. provrte, rupe, udubljenja, utore i sl.) čije se nevidljive konture mogu predočiti crtkanom (isprekidanom) crtom (vidi bokocrt strojnog dijela na slici 6.63.). Šupljine mogu biti vrlo složenog oblika pa bi se crtanjem mnoštva isprekidanih crta smanjila čitljivost crteža, a često bi došlo i do netočnih predodžbi o obliku strojnog dijela. To se može izbjeći uporabom prikaza u obliku zamišljenog presjeka (ISO 128)(slika 6.63.).

Presjek može biti različit, ovisno o tome koliki je dio predmeta u mislima odstranjen, odnosno presječen zamišljenim presječnim ravninama. Na slici 6.64. prikazani su tzv. puni (a), polovični (b) i djelomični (c) presjeci u izometrijskoj i ortogonalnoj projekciji.

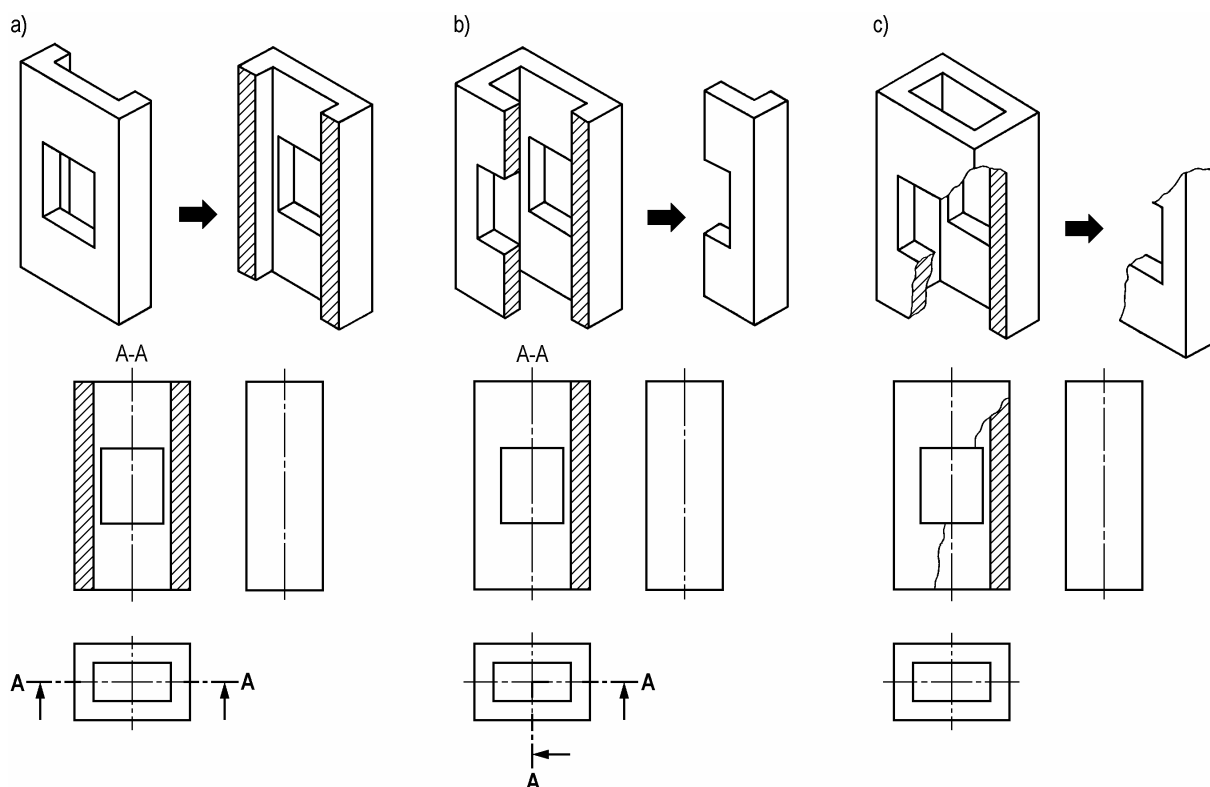
Puni presjek (slika 6.64.a) dobije se ako se zamisli sječenje cijelog strojnog dijela na dvije polovine.

Polovični presjek (slika 6.64.b) dobije se ako se zamisli isječenje jedna četvrtina strojnog dijela (polovina odgovarajuće ortogonalne projekcije crta se kao pogled, a druga polovina kao presjek).

Djelomični presjek (slika 6.64.c) dobije se ako se zamisli sječenje manjeg dijela strojnog dijela.



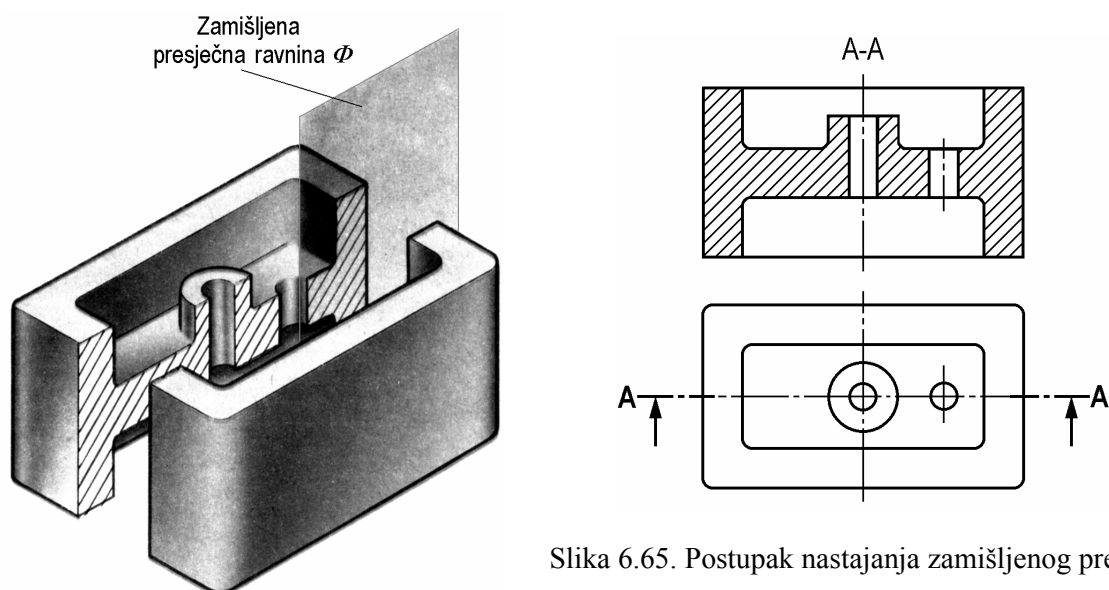
Slika 6.63. Šupljine unutar strojnog dijela se mogu predložiti kao nevidljivi bridovi crtkanom crtom ili zamišljenim presjekom



Slika 6.64. Puni (a), polovični (b) i djelomični (c) presjek

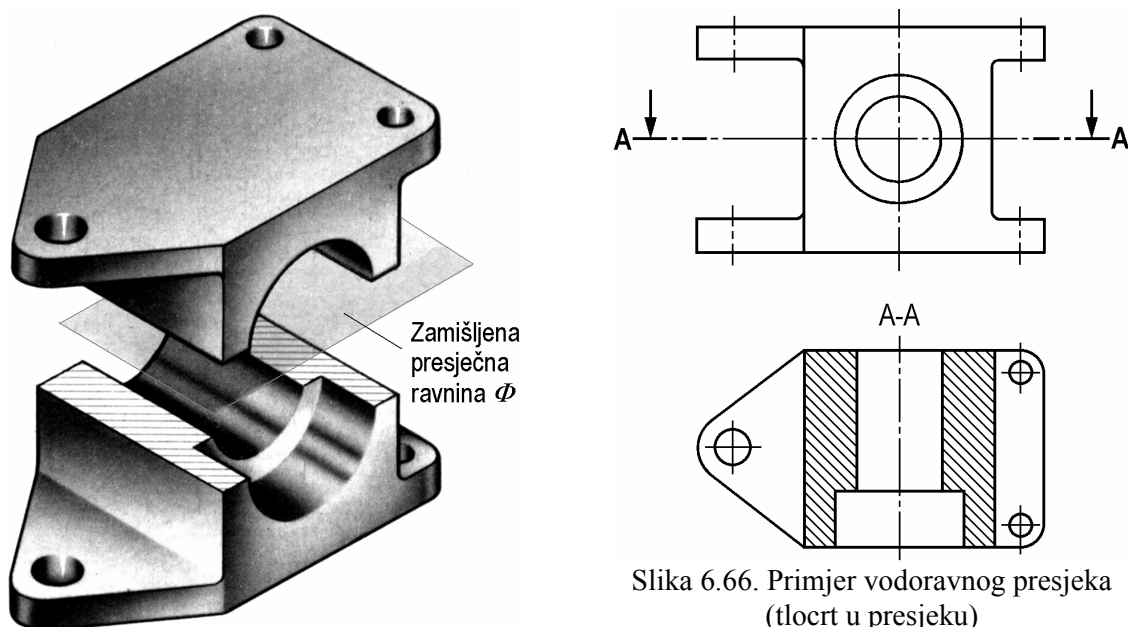
Presjek se može definirati kao prikaz predmeta, dobiven na taj način da se zamisli presijecanje predmeta jednom ili više presječnih ravnina. Pri tome se dio predmeta (koji se nalazi između promatrača i presječne ravnine) u mislima uklanja, a na ravnini projekcija (crtanja) prikazuje se ono što se nalazi na presječnoj ravnini

Φ (oblik presjeka predmeta) po svim pravilima ortogonalnog projiciranja (slika 6.65.).



Slika 6.65. Postupak nastajanja zamišljenog presjeka

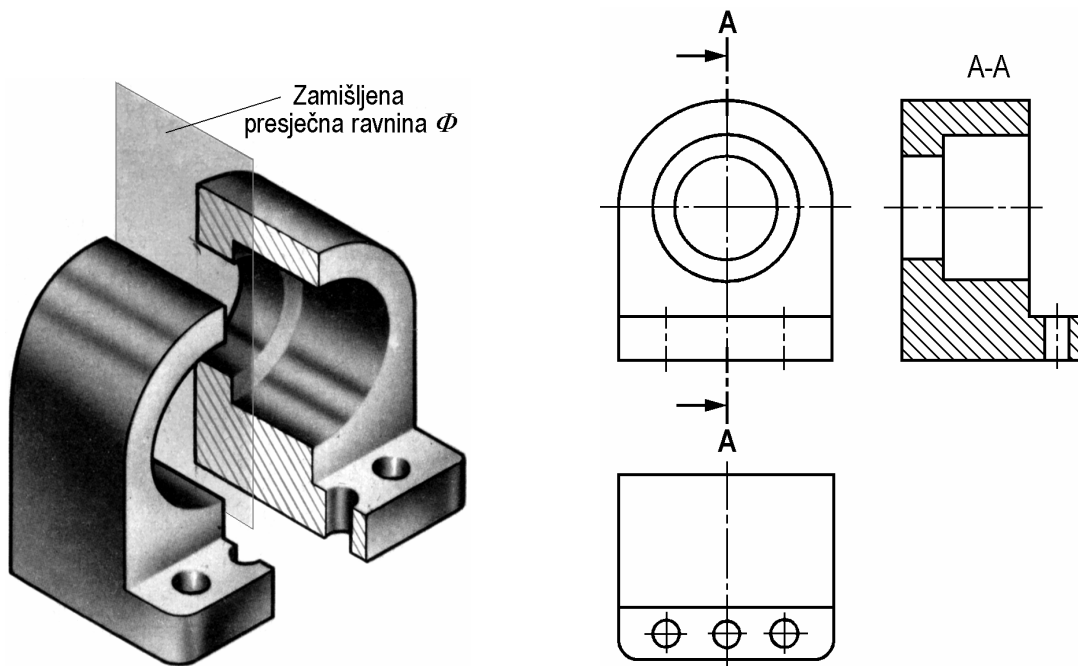
U slučaju stvarnog, a ne zamišljenog presjeka, stijene strojnog dijela morale bi se piliti pilom. Tako "prepiljene" stijene u projekciji se šrafiraju (iscrtavaju tankom punom crtom; vidi tablicu 7.9.), po čemu se zna da se radi o strojnom dijelu nacrtanom u presjeku. Šupljine unutar strojnog dijela ne šrafiraju se.



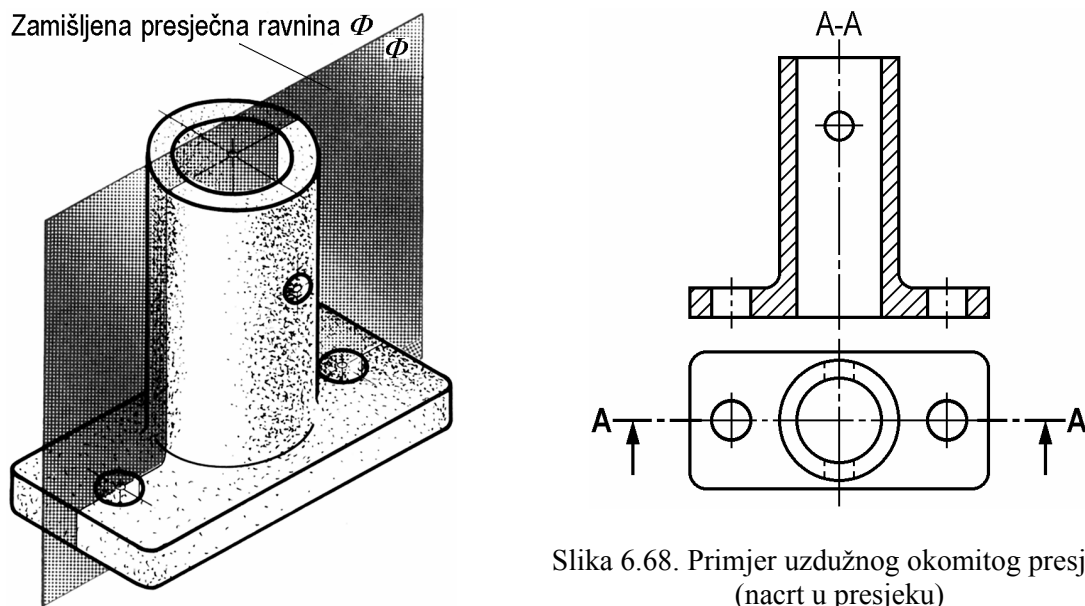
Slika 6.66. Primjer vodoravnog presjeka (tlocrt u presjeku)

Ovisno o broju presječnih ravnina, presjeci se mogu podijeliti na jednostavne (jedna presječna ravnina) i složene (dvije i više presječnih ravnina). Zavisno pak o položaju presječnih ravnina u odnosu na horizontalnu ravninu projiciranja, presjeci se mogu podijeliti na horizontalne, vertikalne i kose. Presjeci se nazivaju uzdužnim

ako su presječne ravnine položene uzduž duljine ili visine strojnog dijela, a poprečnim ako su presječne ravnine okomite na duljinu ili visinu strojnog dijela.



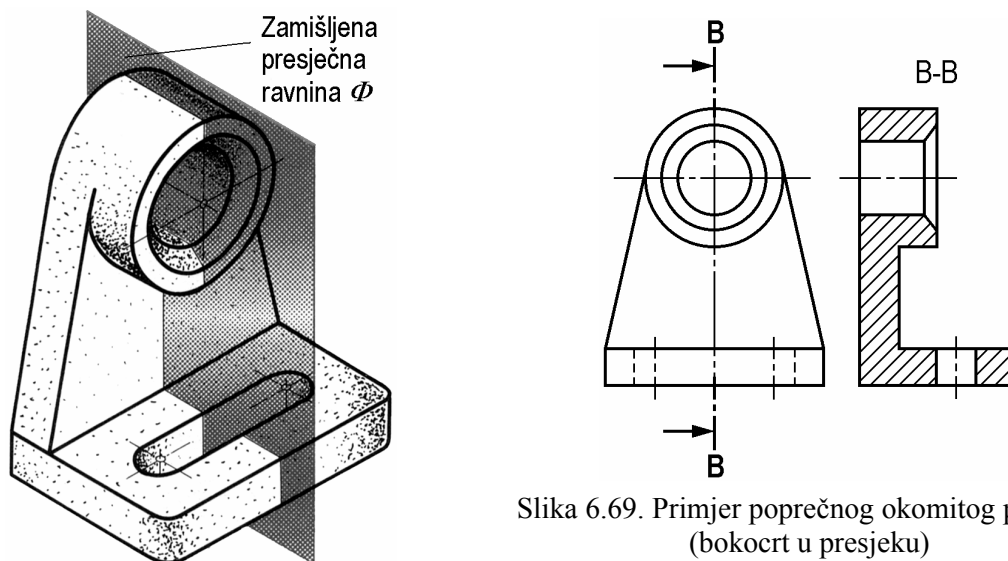
Slika 6.67. Primjer poprečnog okomitog presjeka (bokocrt u presjeku)



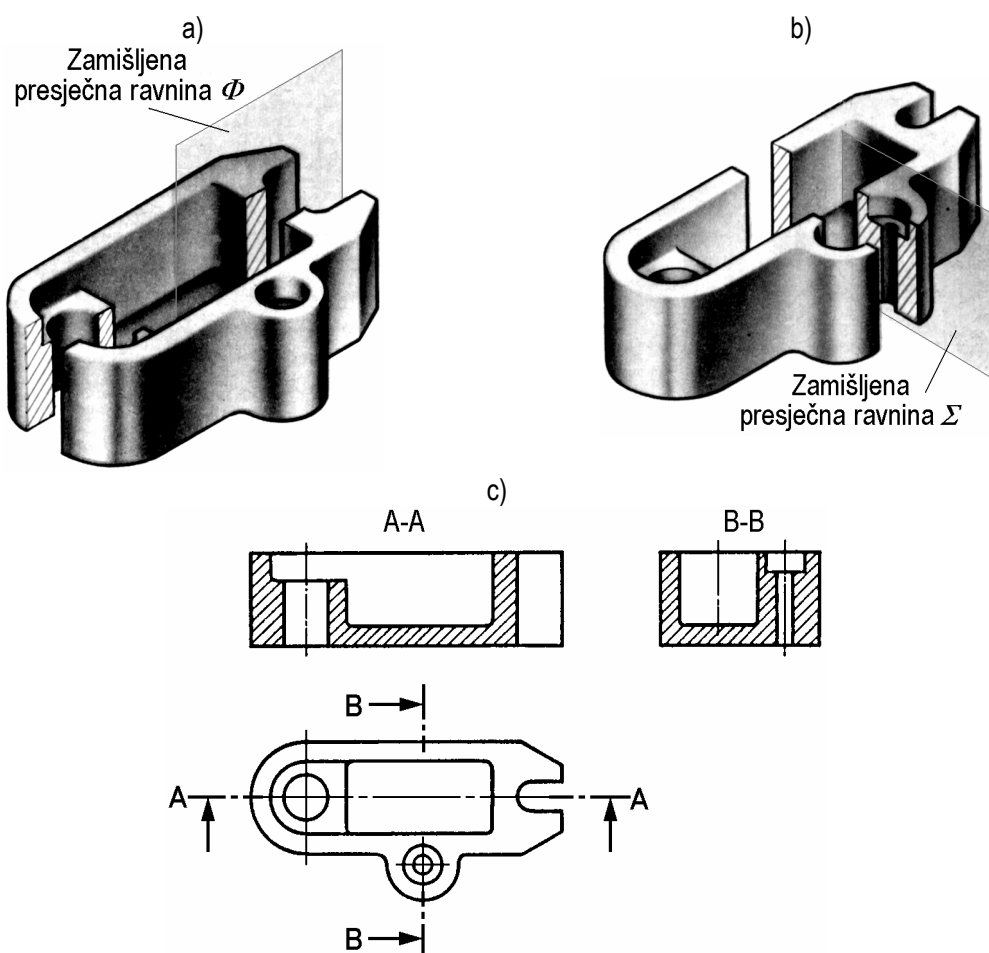
Slika 6.68. Primjer uzdužnog okomitog presjeka (nacrt u presjeku)

Okomitim presjekom naziva se presjek nastao presijecanjem presječnom ravninom, koja je okomita na vodoravnu ravninu projiciranja Π_1 . Pri tome treba razlikovati uzdužni okomiti presjek (slike 6.65., 6.68. i 6.70.a) i poprečni okomiti presjek (slike 6.67., 6.69. i 6.70.b).

Vodoravnim presjekom naziva se presjek nastao presijecanjem presječnom ravninom koja je paralelna s vodoravnom ravninom projiciranja Π_1 (slika 6.66.).



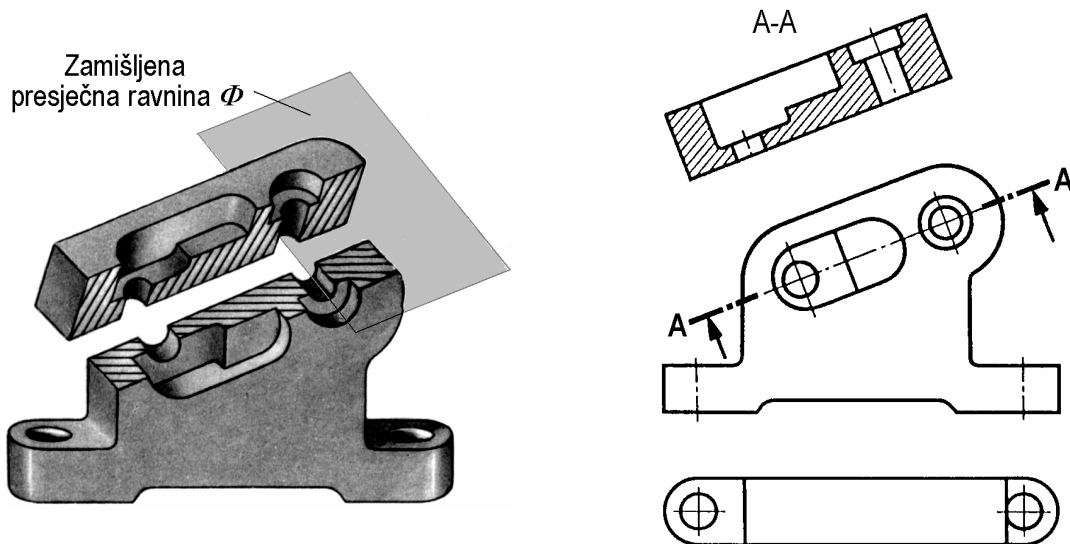
Slika 6.69. Primjer poprečnog okomitog presjeka (bokocrt u presjeku)



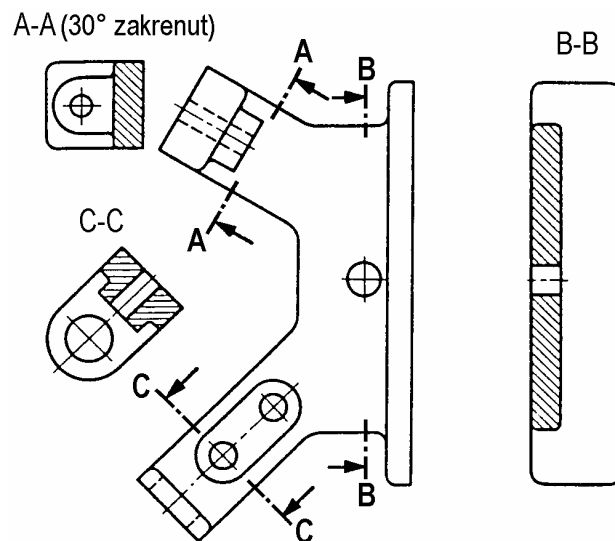
Slika 6.70. Primjer istodobnog uzdužnog i poprečnog okomitog presjeka (nacrt i bokocrt u presjeku)

Kosim presjekom naziva se presjek nastao presijecanjem presječnom ravninom koja s vodoravnom ravninom projiciranja Π_1 zatvara kut koji je različit od pravog kuta. Kosi presjek projicira se na dopunsku ravninu (pomoćnu ravninu)

projiciranja koja je paralelna s presječnom i položena u ravninu crteža. Primjer kosog presjeka prikazan je na slici 6.71. Položaj presječne ravnine označava se linijom presjeka sa strelicama koje pokazuju smjer gledanja.



Slika 6.71. Primjer kosog presjeka pravilno smještenog u skladu s položajem kose presječne ravnine Φ i smjerom gledanja A-A



Slika 6.72. Primjeri kosih presjeka smještenih u skladu s važećim pravilima

Kosi presjeci oblikuju se i smještaju ovisno o smjeru gledanja (slika 6.71.). Međutim, ako je to potrebno, dopušta se smještanje kosih presjeka i na bilo kojem drugom mjestu na crtežu neovisno o vezi s projekcijom, ali ovisno o smjeru gledanja definiranom strelicom (slika 6.72.).

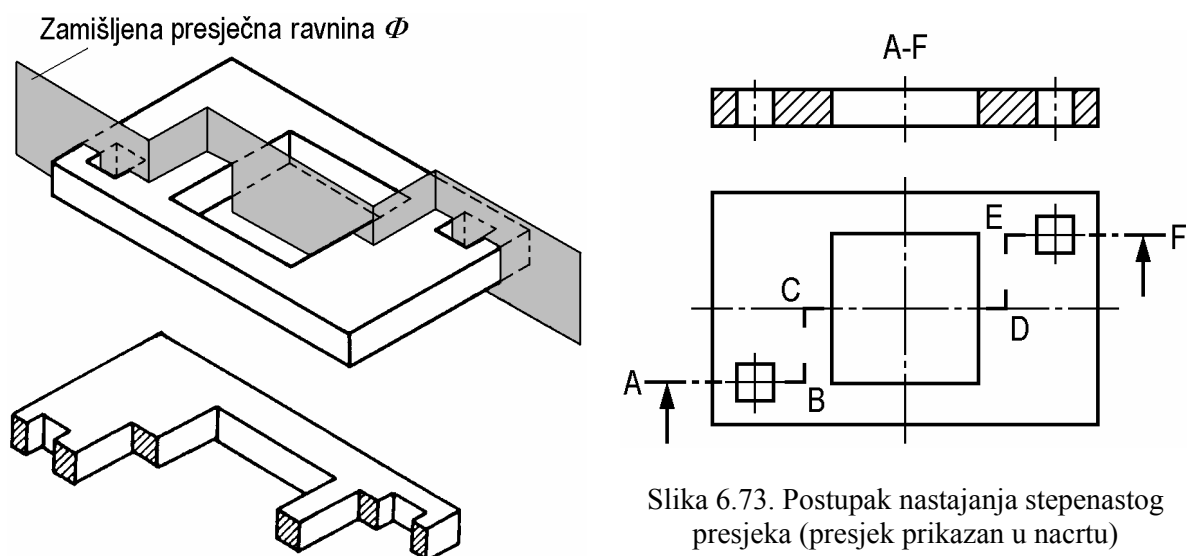
Spomenuti presjeci spadaju u skupinu tzv. jednostavnih presjeka s obzirom na to da su nastali presijecanjem samo jednom presječnom ravninom. Već je rečeno da osim jednostavnih presjeka postoje i tzv. složeni presjeci koji nastaju presijecanjem s dvije ili više presječnih ravnina. Složeni presjeci mogu se podijeliti

na stepenaste i izlomljene presjeke.

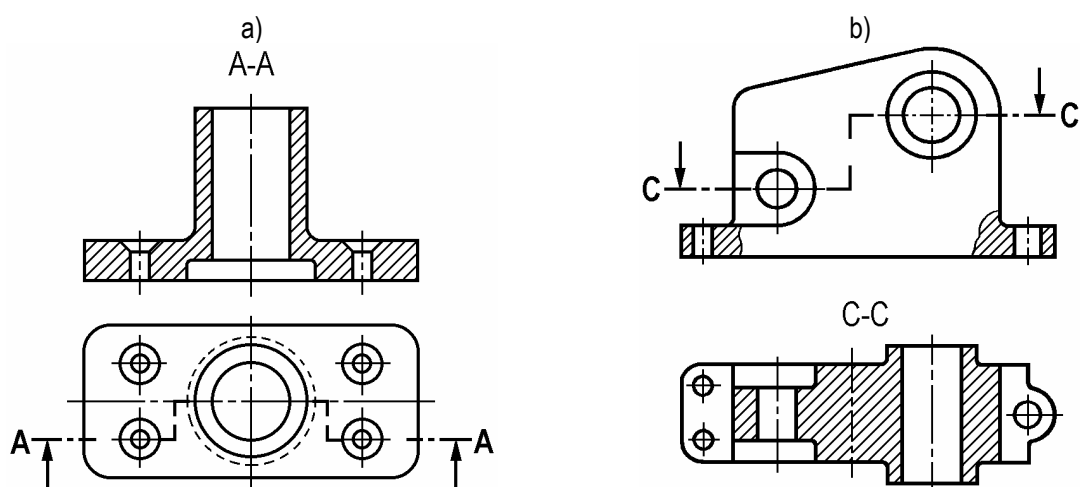
Stepenasti presjeci su presjeci koji nastaju ako se strojni dio presijeca s dvije ili više paralelnih presječnih ravnina. Mogu se pojaviti u nacrtu, tlocrtu i bokocrtu (tzv. frontalni, horizontalni i profilni stepenasti presjek [8]).

Primjer stepenastog horizontalnog presjeka prikazan je na slikama 6.73., 6.74.a i 6.74.b te 6.75. U slučaju slike 6.73. zamišljena presječna ravnina Φ vođena je preko onih dijelova predmeta u tlocrtu čiji se presjek želi vidjeti u nacrtu. Presječna se ravnina obično vodi preko središnjica, utora, provrta, rupa i slično.

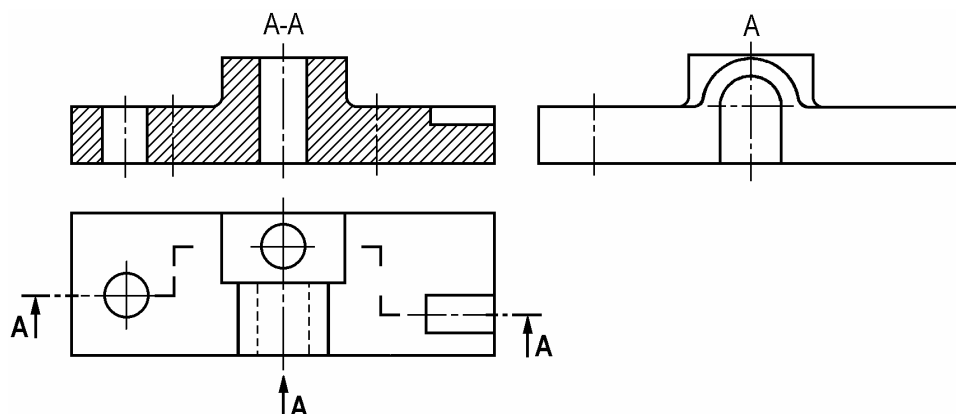
Zamišljena presječna ravnina Φ na slici 6.73. u načelu se sastoji od tri međusobno paralelne uzdužne vertikalne presječne ravnine. Prijelaz s jedne na drugu (ovako zamišljenu) presječnu ravninu ne predočuje se crtom s obzirom na to da se radi o zamišljenoj, a ne o stvarnoj ravnini, pa se presjek crta kao da se ne radi o stepenasto vođenim presječnim ravninama.



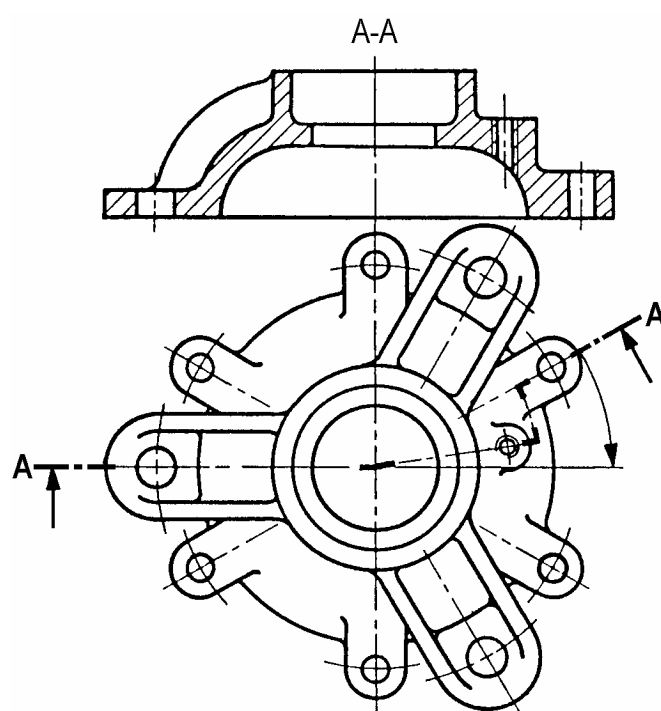
Slika 6.73. Postupak nastajanja stepenastog presjeka (presjek prikazan u nacrtu)



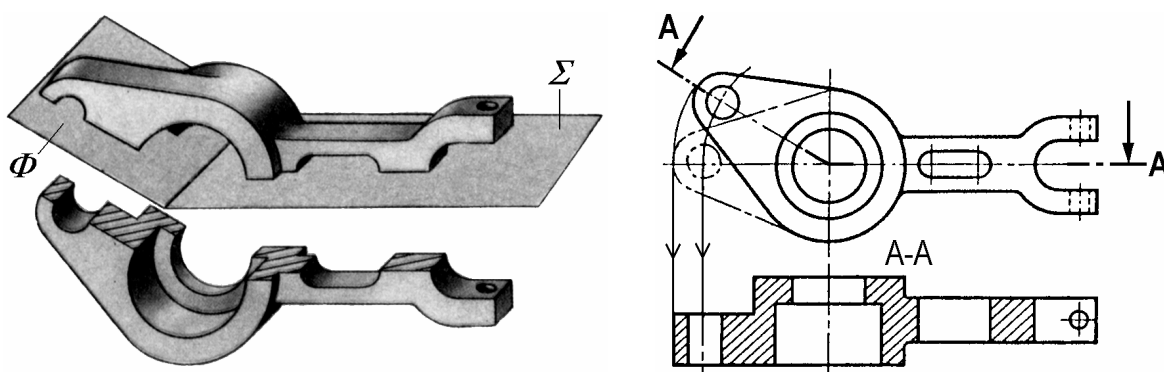
Slika 6.74. Primjeri stepenastog presjeka prikazanog u nacrtu (a) i tlocrtu (b)



Slika 6.75. Primjer mogućeg smještaja stepenastog presjeka



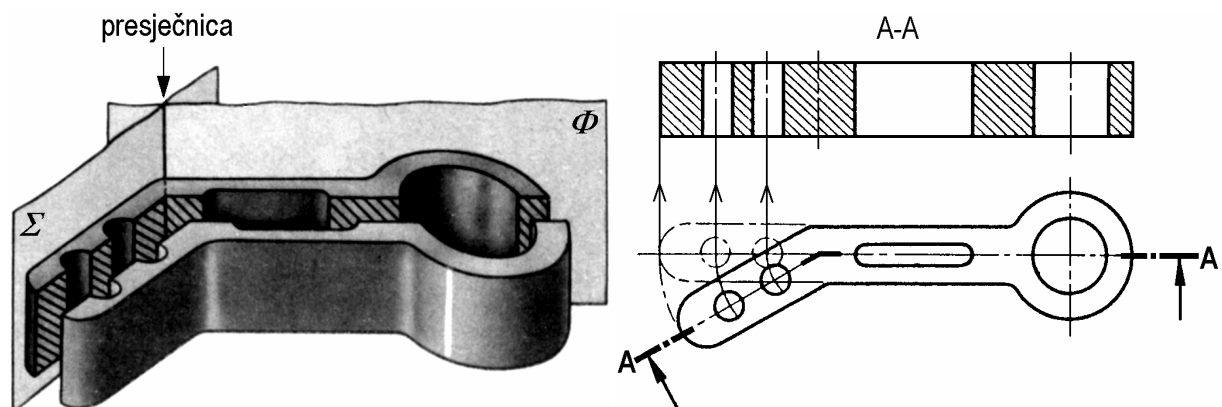
Slika 6.76. Primjer izlomljenog presjeka na složenoj prirubnici



Slika 6.77. Primjer izlomljenog presjeka smještenog u tlocrt

Izlomljeni presjeci [8] su presjeci koji nastaju ako se strojni dio presijeca s

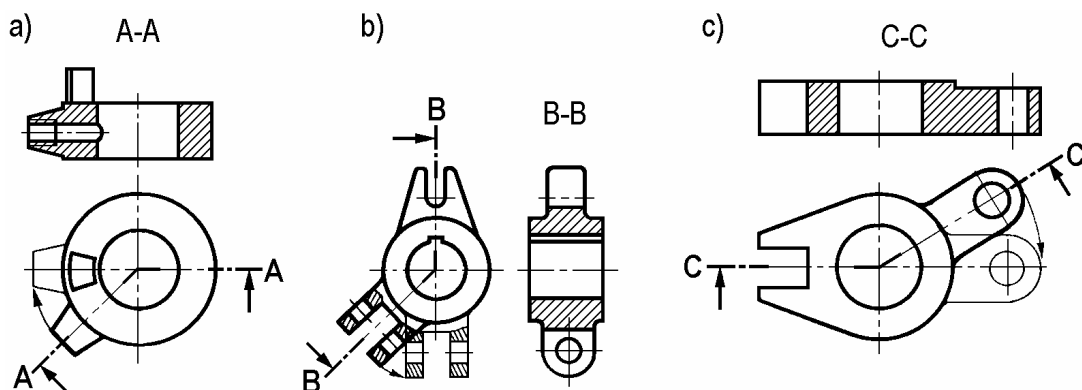
dvije ili više presječnih ravnina koje nisu paralelne, ali se sijeku (slike 6.76., 6.77. i 6.78.). Pravilo je da se dijelovi presjeka, nastali lomljenjem presječnih ravnina, zakreću u ravninu crtanja, tj. u položaj paralelan s jednom od ravnina projiciranja (slika 6.76.). Na primjer, u slučajevima prikazanim na slikama 6.77. i 6.78. kosa presječna ravnina Φ dogovorno se zakreće oko linije presjeka presječnih ravnina Φ i Σ (slika 6.78.) do položaja u kojem se nalazi ravnina projiciranja s kojom je presječna ravnina Σ paralelna (u slučaju slike 6.78. radi se o ravnini projekcija Π_2). Izlomljeni presjek obično se prikazuje na mjestu odgovarajućeg smjera pogleda, međutim od toga se po potrebi može i odstupiti (vidi primjer na slikama 6.79.c i 6.76.), pa smjer zakretanja ne mora biti jednak smjeru gledanja.



Slika 6.78. Primjer izlomljenog presjeka smještenog u nacrt

Na ispust s lijeve strane strojnog dijela na slici 6.79.a zakretanje presječne ravnine nema nikakvog utjecaja. Njegov prikaz ovisi o vezi s odgovarajućom osnovnom projekcijom.

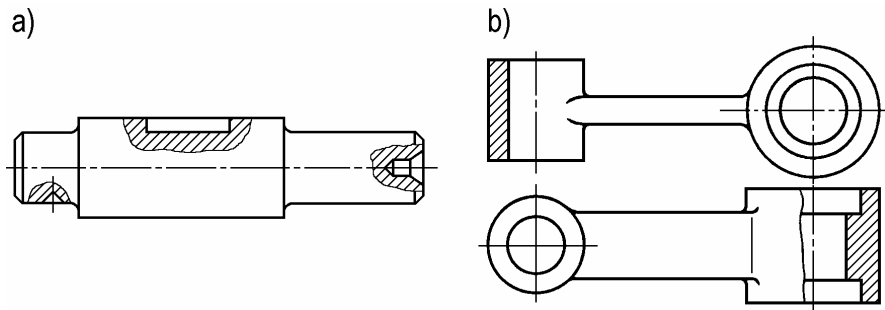
U slučaju simetričnih dijelova strojnog dijela prikazanog na slici 6.79.b (ušica ručice) zamišljeno je da se oni zakreću skupa s presječnom ravninom.



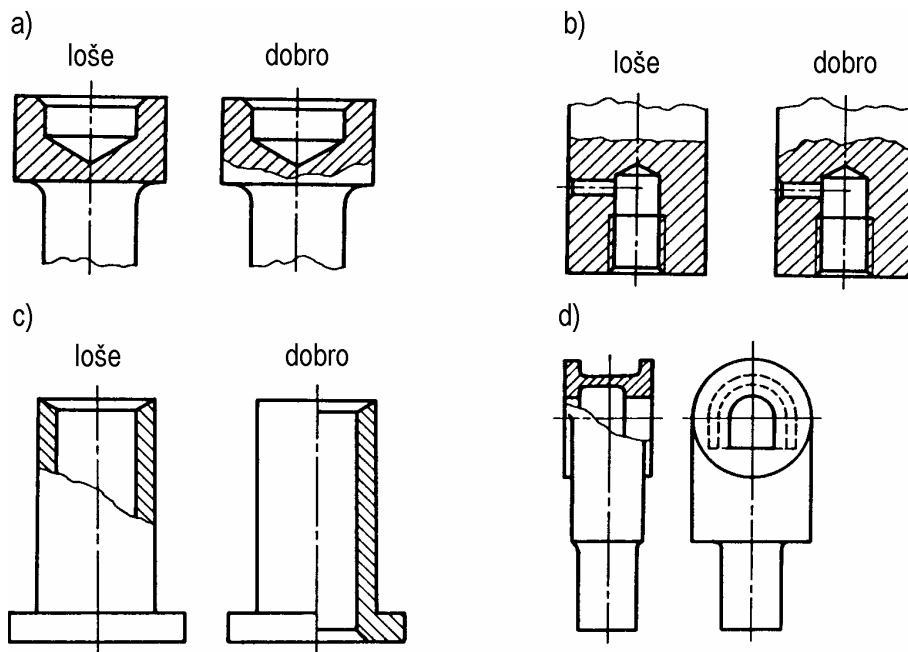
Slika 6.79. Primjeri izlomljenih presjeka kod kojih važe posebni dogovori

Ako se želi razjasniti samo dio strojnog dijela, može se uporabiti tzv. **djelomični presjek** (slika 6.64.c). Na slici 6.80.a prikazan je primjer djelomičnog presjeka koji otkriva oblike pojedinih dijelova strojnog dijela. U slučaju da se

djelomični presjek prikazuje na dijelu predmeta koji sam za sebe predstavlja rotacijsko tijelo (slika 6.80.b), djelomični presjek može se odvojiti s osi rotacije (simetralom) ili crtom presjeka.



Slika 6.80. Primjeri uporabe djelomičnog presjeka

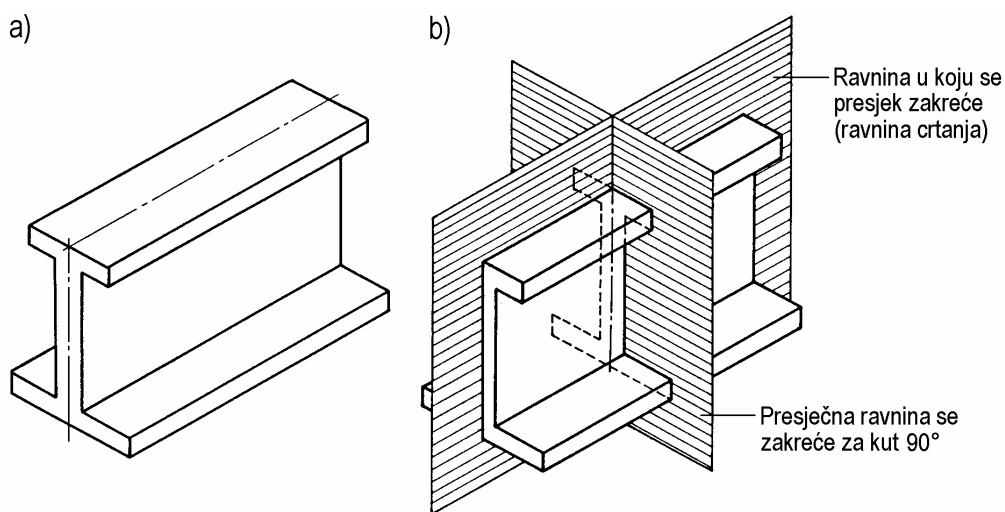


Slika 6.81. Primjeri nekih posebnih dogovora kod djelomičnih presjeka

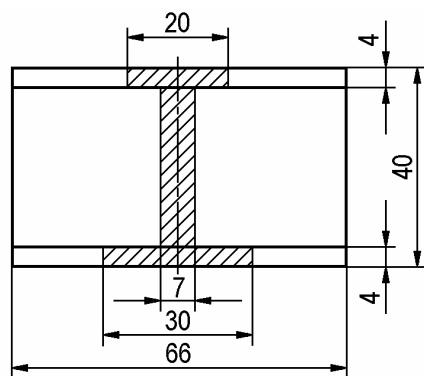
Pri crtanju djelomičnih presjeka treba imati na umu i neke posebne dogovore. Tako na primjer brid nikada ne može biti granica između djelomičnog presjeka i pogleda na predmet, jer bi se u protivnom činilo kao da se radi o dva predmeta (slika 6.81.a). Crta loma ne smije se povlačiti paralelno s bridom predmeta, jer bi se u protivnom mogla poistovjetiti s loše povučenim bridom predmeta (slika 6.81.b), što bi moglo prouzročiti zamjenu njezinog značenja. U slučaju da je predmet simetričan, ne običava se crtanje poprečnog presjeka jer se oblik može bolje prikazati polovičnim presjekom (slika 6.81.c). Kada su u pitanju nesimetrični predmeti, kod kojih nije moguće primijeniti polovičan presjek, dopušta se prikaz djelomičnim presjekom na većem dijelu predmeta (slika 6.81.d).

Zakrenuti ili zaokrenuti presjek je poprečni presjek strojnog dijela, zakrenut (zaokrenut) za kut 90° oko središnjice (slika 6.82.b), nacrtan u promatranoj

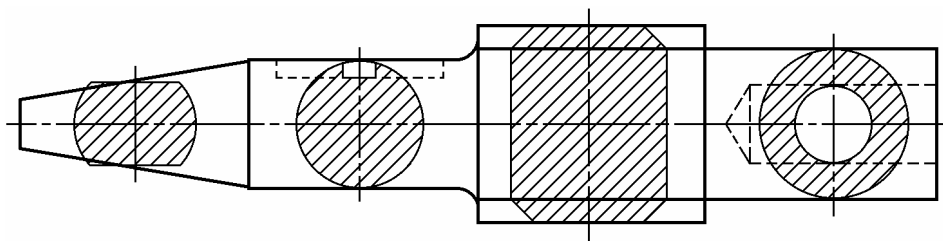
projekciji (slike 6.83. i 6.84.) ili izvan nje (slika 6.85.). Dakle, presječna ravnina u kojoj se nalazi poprečni presjek strojnog dijela zakreće se za kut 90° i poklapa s ravninom u kojoj će presjek biti nacrtan (slika 6.82.b).



Slika 6.82. Načelo nastajanja zakrenutog presjeka



Slika 6.83. Zakrenuti presjek nosača prikazanog na slici 6.82.a

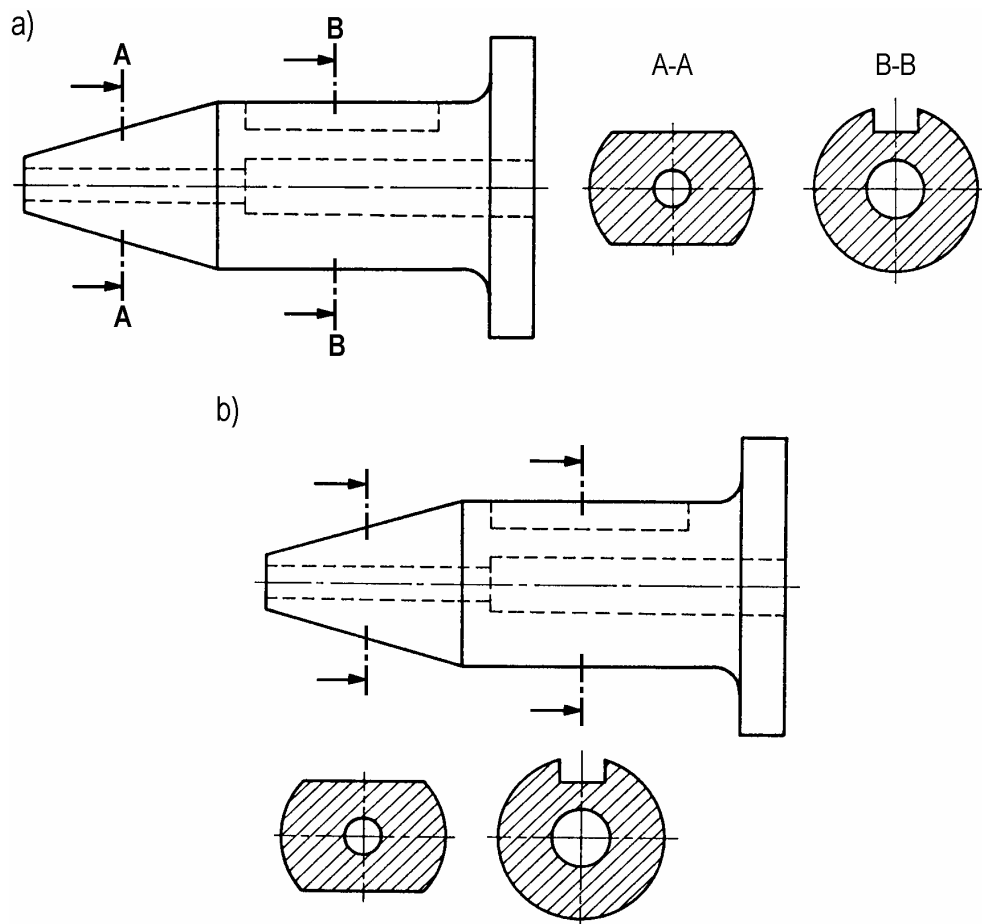


Slika 6.84. Strojni dio s različitim poprečnim presjecima koji su prikazani kao zakrenuti presjeci u nacrtu

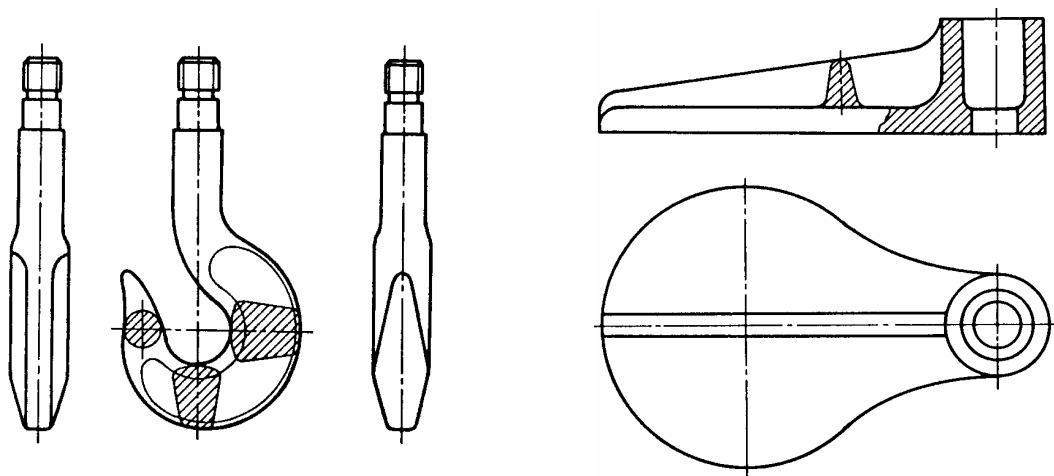
Ako se zakrenuti presjek crta unutar promatrane projekcije (slike 6.83. i 6.84.), rabi se crta 01.1.6, a ako se isti crta izvan projekcije (slika 6.85.), rabi se crta 01.2.1 (vidi tablicu 7.10.).

Primjenom zakrenutih presjeka štedi se na broju projekcija (slike 6.83. i 6.84.). Zakrenuti i normalni poprečni presjek različito predložuju predmet. Zakrenuti

predočuje samo konturu predmeta koja se nalazi u presječnoj ravnini, a normalni (vrlo često) osim konture predočuje i ostale dijelove promatranog strojnog dijela koji se vide u smjeru gledanja (slika 6.88.). Dakle, normalni poprečni presjek sadrži u sebi i zakrenuti presjek (šrafirani dio presjeka).

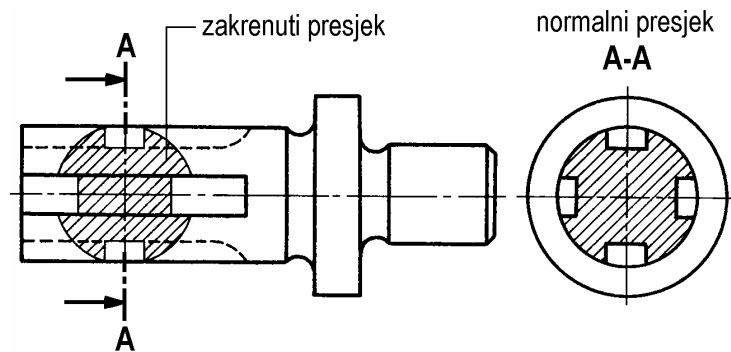


Slika 6.85. Najčešći primjeri smještaja zakrenutog presjeka izvan projekcije



Slika 6.86. Zakrenuti presjeci u većini slučajeva daju zorniju sliku strojnog dijela od projekcije u pogledu

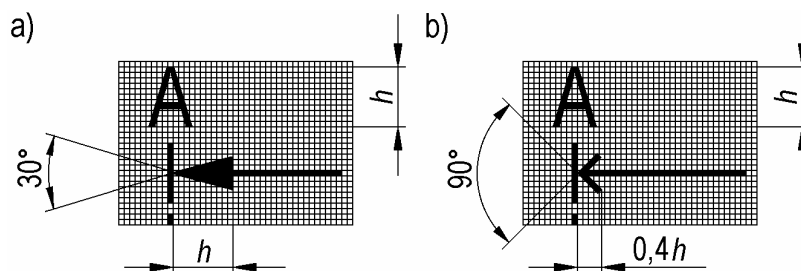
Slika 6.87. Oblik rebra (ojačanja) često se prikazuje u zakrenutom presjeku



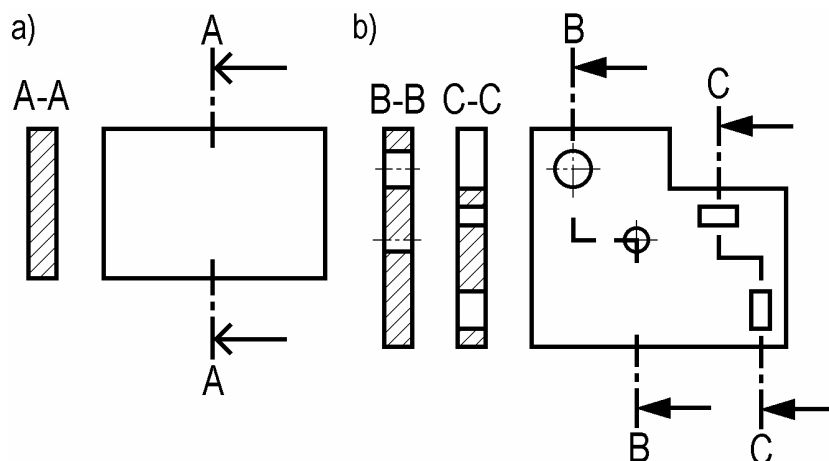
Slika 6.88. Zakrenuti i normalni poprečni presjek

6.6.2. Označavanje presjeka

Općenito, presječna između dvije ravnine je pravac koji se naziva trag. Između presječne ravnine i ravnine crtanja postoji također takav trag, i to u onim glavnim ravninama crtanja koje presječna ravnina siječe. Ravnina presjeka u većini je slučajeva okomita na glavne ravnine crtanja, dakle postoje četiri traga koji se označavaju u jednoj projekciji ili dvijema, od spomenute četiri koje postoje.



Slika 6.89. Dimenzije i oblik strelica za označavanje presjeka



Slika 6.90. Označavanje presjeka prema ISO 128-40

Položaj zamišljene presječne ravnine označava se izvlačenjem tragova crtom 04.2.2 istaknutom na krajevima i na mjestima možebitnog prijeloma ravnine (vidi tablicu 7.10.). Na krajevima tragova crtaju se strelice (crtom 01.2.8, vidi tablicu

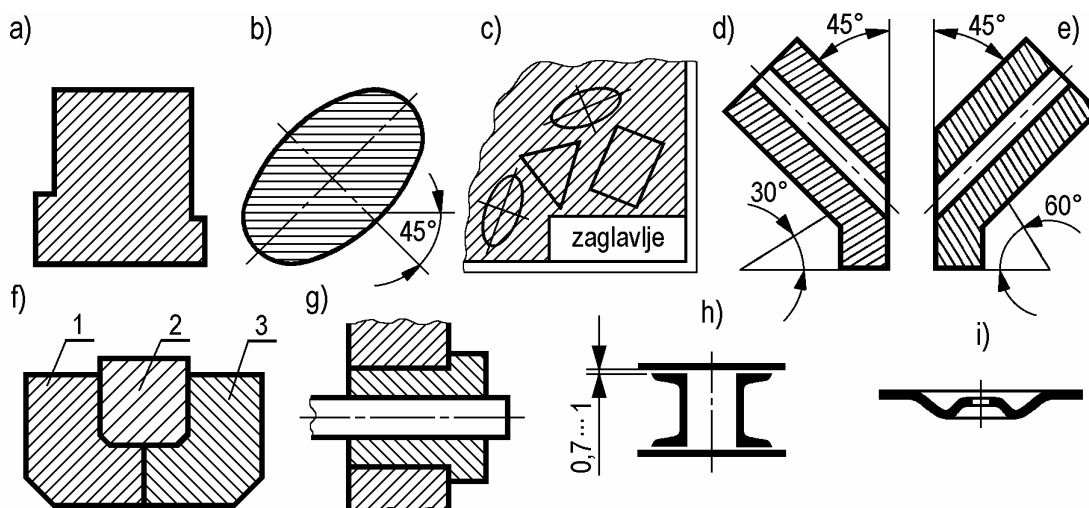
7.10.) koje pokazuju pravac i smjer pogleda, a pored njih upisuju se velika slova s početka abecede koja označuju zamišljeni presjek strojnog dijela prema ISO 128-40 (vidi sliku 6.90. te slike od 6.63. do 6.79.). Slova na krajevima tragova presječne ravnine ispisuju se iznad odgovarajućeg presjeka (npr. A-A, odnosno A-F prema slici 6.73.).

U ovisnosti o visini slova za oznaku presjeka na slici 6.89. dana je dimenzija strelice za označavanje presjeka. U praksi se rabe oba oblika strelica prikazanih na slici 6.89., a u ovom udžbeniku kod većine primjera je primijenjen način označavanja dan na slici 6.89.a. Oblik strelice dan na slici 6.89.b. uglavnom se primjenjuje kod sustava za crtanje podržano računalom.

Tablica 6.7. Šrafura za glavne skupine materijala na tehničkim crtežima

Metali (kovine)	Izolacije i brtvila	Nemetali	Građevinski materijali			Tekućine
			Drvo	Zemlja	Ostali	

Kao što je već uočeno, materijal u presjeku se označava šrafurom (iscrtavanjem crtama 01.1.5, tablica 7.10.) ovisno o vrsti materijala (vidjeti tablicu 6.7.). U većini slučajeva u strojarstvu se radi o metalnim materijalima i šrafuri pod kutom od 45° u odnosu na osnovni brid (slika 6.91.a) strojnog dijela ili njegovu simetralu (slika 6.91.b). Nagib šrafure pod kutom od 45° najčešće se definira u odnosu na obris (slika 6.90.c).



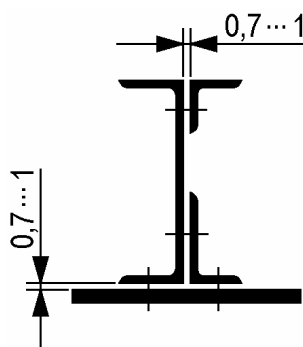
Slika 6.91. Primjeri uz pravila o označavanju presjeka materijala šrafurom

Ako su stijene strojnog dijela nagnute pod kutom od 45° ili pod kutom koji je blizu ove vrijednosti, primjenjuje se iznimno nagib šrafure pod kutom od 30° (slika

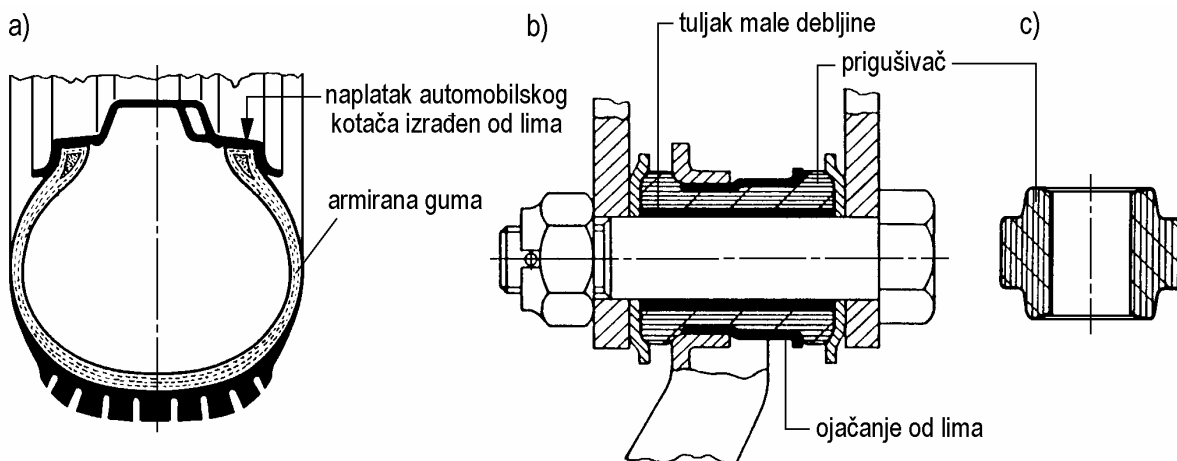
6.91.d) ili 60° (slika 6.91.e). Crte šrafure moraju biti što kraće, što je određeno smjerom nagiba (lijevim ili desnim) na slikama 6.91.d i 6.91.e.

Razmak između crta šrafure odabire se prema veličini površine presjeka koja se iscrtava. Kod malih ploha preporuka je da ona iznosi od 1 do 2 mm, a kod većih površina od 3 do 5 mm. Šrafura mora biti jednolična (uvijek jednakog nagiba i razmaka, a crte jednake debljine). Za jedan te isti strojni dio šrafura može imati samo jedan smjer i gustoću, bez obzira na to je li isti sječen u jednoj projekciji ili više njih. Pri šrafitiranju triju i više graničnih presjeka (kod sklopnih crteža) potrebno je promijeniti gustoću šrafure ili iscrtavati šrafuru jednog presjeka s pomakom u odnosu na drugi presjek (npr. kod dijelova od 1 do 3 na slici 6.91.f).

Kod velikih površina presjeka, šrafura ne mora ispunjavati cijelu površinu, već samo uski pojas presjeka približno jednake širine (slika 6.91.g). Uske površine strojnih dijelova (od lima, profila, cijevi i sl.) u zamišljenom se presjeku ne šrafitiraju, već se pocrne, kao što je to prikazano na slikama 6.91.i, 6.93.a i 6.94.b. Ako ima više takvih površina u sklopu, između njih se prema ISO 128-50 ostavlja međupovršina (raspor) širine od 0,7 do 1 mm (slike 6.91.h i 6.92.).



Slika 6.92. Raspor kod više uskih površina u sklopu



Slika 6.93. Primjeri nekoliko nemetalnih i metalnih materijala u presjeku označenih šrafurom

Ako se radi o presjecima nemetalnih materijala, šrafura se iscrtava prema normi ISO 128. Prema toj normi izrađena je tablica 6.7. u kojoj su dani primjeri šrafura za glavne skupine materijala koje se upotrebljavaju na tehničkim crtežima.

Označavanja različitih materijala šrafurom na raznim prezentacijskim crtežima moguće je i prema DIN 201. Ove norme nisu, međutim, nikada u potpunosti primijenjene u praksi (izuzev u slučaju zemlje i betona, a ponekad i drva) gdje se uglavnom i za različite materijale upotrebljava šrafura kao za kovine (metale) u općem slučaju (šrafura iscrtana crtom 01.1.5 pod kutom od 45°).

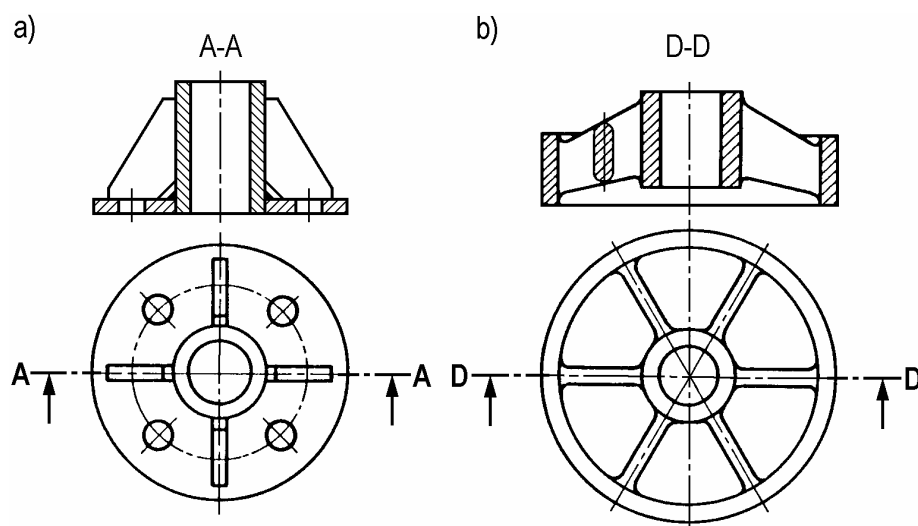
Primjeri nekoliko nemetalnih i metalnih materijala u presjeku označenih šrafurom prikazani su na slici 6.93.

6.6.3. Pravila za crtanje presjeka

Presjek se crta u slučaju kada se želi bolje razjasniti oblik promatranog strojnog dijela u odnosu na pogled. U slučaju da presjek zaklanja (pokriva) neki vlastiti dio ili drugi strojni dio, ne preporuča ga se crtati.

U presjeku nije potrebno crtati nevidljive bridove s obzirom na to da presjek predočava pogled na presjek strojnog dijela u zavisnosti od odabranih presječnih ravnina, a ne ono što je iza tih ravnina. Dakle, u presjeku se ništa ne crta isprekidanom crtom, osim kada je to potrebno.

Veliki broj karakterističnih dijelova nikada se ne siječe uzdužno jer takav presjek ne bi dao zornu ili pravilnu sliku strojnog dijela, već se sijeku samo poprečno (npr. rebra, profili, limovi, svi uloženi dijelovi, te dugački i vitki dijelovi). Uloženi dijelovi (pera, klinovi i sl.) obvezatno se crtaju u poprečnom presjeku, a ostali samo u slučaju potrebe. Ako je kod ovih potreban uzdužni presjek, onda je to djelomični presjek.

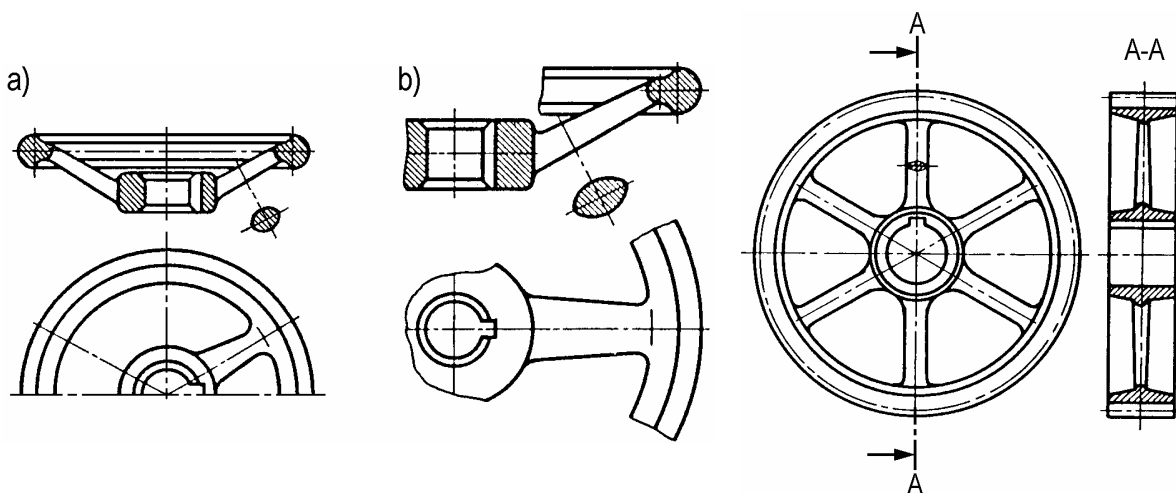


Slika 6.94. Rebra (a) i ramena (paoci) (b) se ne sijeku iako se zamišljena presječna ravnina vodi preko njih

Kod rebara, ramena (paoka) i zuba zupčanika, odnosno dijelova koji se ne nalaze na cijelom opsegu, dobila bi se kriva predodžba o dijelu predodčenom u presjeku, što je osnovni razlog da se oni ne sijeku (slike 6.94.a, 6.94.b, 6.95.a, 6.95.b i 6.96.). Profili (slika 6.97.a), limovi (slika 6.97.b), ploče i slično također se

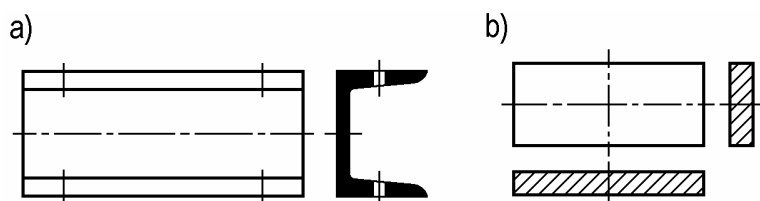
ne crtaju u uzdužnom presjeku, već samo u poprečnom, jer inače ploča ili lim ne bi dali zornu predodžbu (šrafiranjem velike površine). Taj poprečni presjek može biti uzduž ploče ili lima i poprijeko (slika 6.97.b).

Kod duljih ploča i limova preporučuje se kraći poprečni presjek (manje posla oko šrafiranja), ako drugi razlozi ne uvjetuju drukčije vođenje presječne ravnine.

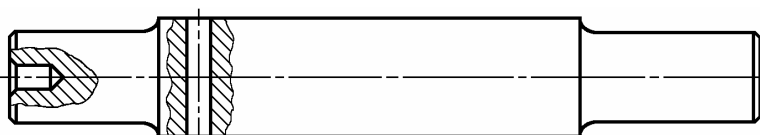


Slika 6.95. Ramena (paoci) na ručnim kolima ne sijeku se uzdužno, već samo poprečno

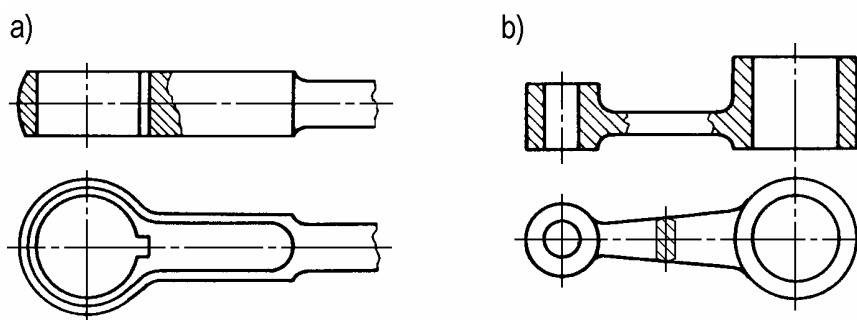
Slika 6.96. Ramena (paoci) i zubi zupčanika ne sijeku se uzdužno



Slika 6.97. Profili i limovi (ploče) ne sijeku se uzdužno



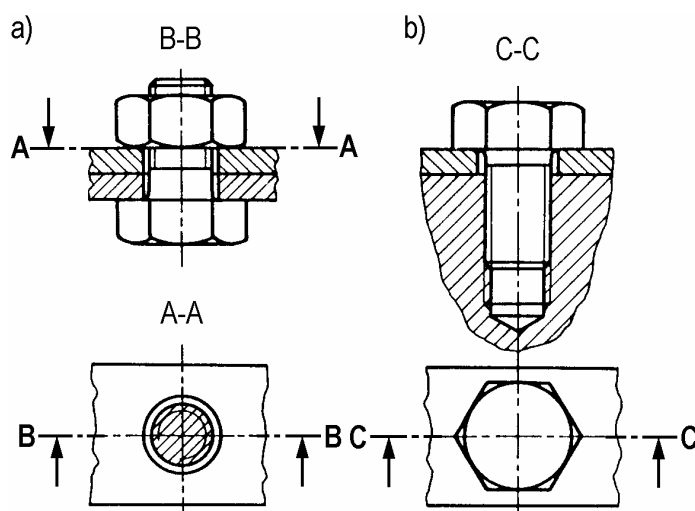
Slika 6.98. Osovine i vratila ne sijeku se uzdužno



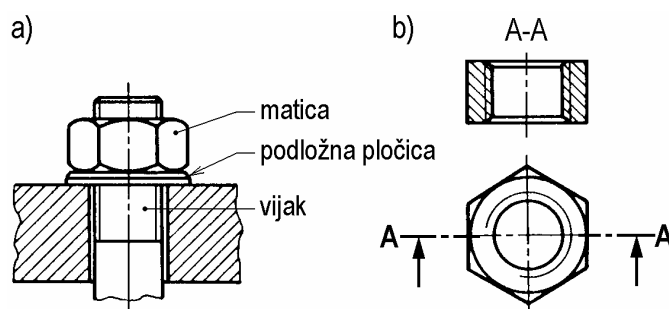
Slika 6.99. Ojnice (a) i poluge (b) ne sijeku se uzdužno

Dugački i vitki strojni dijelovi, kao npr. osovine i vratila (slika 6.98.), ojnice (slika 6.99.a), poluge (slika 6.99.b), stapajice i slično, ne sijeku se uzdužno, već samo poprečno. Ako je (iz bilo kojih razloga) potreban i uzdužni presjek, on se crta samo kao djelomični presjek.

Svi uloženi dijelovi (vijci, zakovice, klinovi, pera, zatici, rascjepke, svornjaci, osovinice i slično) nikada se ne crtaju u uzdužnom presjeku, čak ni u slučajevima kada je zamišljena ravnina vođena točno preko njih. Tragove ovih presječnih ravnina nije potrebno posebno označavati. Vijak se uvijek crta tako kao da je sječen ispod matice, s time da se matica pri pogledu odozgo ne crta (slika 6.100.a).

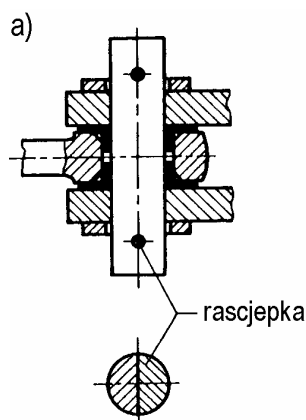


Slika 6.100. Spoj s vijkom i maticom (vijak ne sijeku se uzdužno, već samo poprečno)

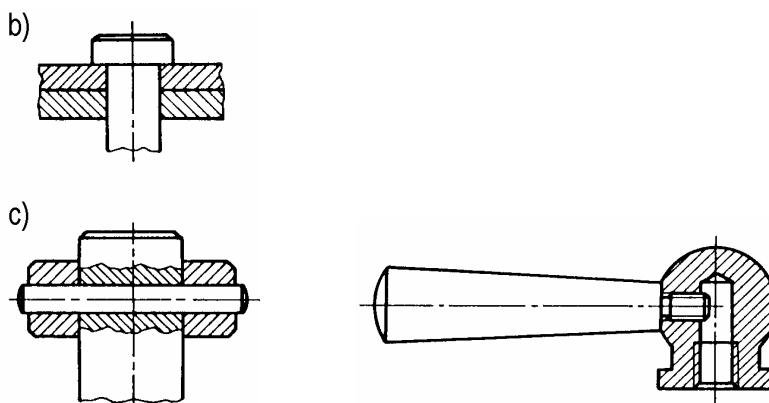


Slika 6.101. Matica, podložna pločica i vijak ne sijeku se (a), a ako se želi prikazati maticu u presjeku, tada se presječna ravnina vodi preko užeg dijela matice (b)

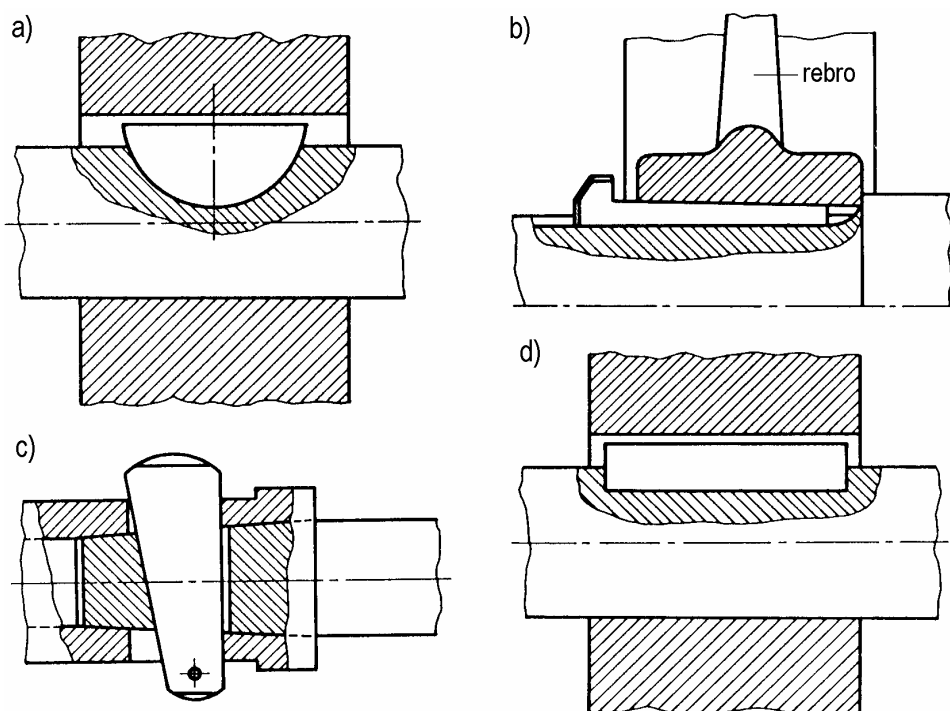
Kod uzdužnog presjeka vijka u spoju, vijak se ne crta u presjeku (slike 6.100.a i 6.100.b). Podložna pločica također se ne siječe (slika 6.101.a). Ako se želi prikazati maticu u presjeku, presječna se ravnina mora voditi preko užeg dijela matice (slika 6.101.b). Rascjepka se mora prikazati u poprečnom presjeku kako bi njezin oblik bio u potpunosti vidljiv (slika 6.102.a). Svornjaci (slika 6.102.b) i osovinice (slika 6.102.c.) ne crtaju se u presjeku. Ovo pravilo vrijedi također i za razne ručice (slika 6.103.), klinove i pera, te vratila i osovine kod njihovih veza s glavinama (slike 6.104.a, 6.104.b, 6.104.c i 6.104.d). Zakovice se crtaju u presjeku samo u poprečnom presjeku (slike 6.105.a i 6.105.b).



Slika 6.102. Rascjepka se mora prikazati u poprečnom presjeku (a), svornjaci (b) i osovinice (c) se ne sijeku



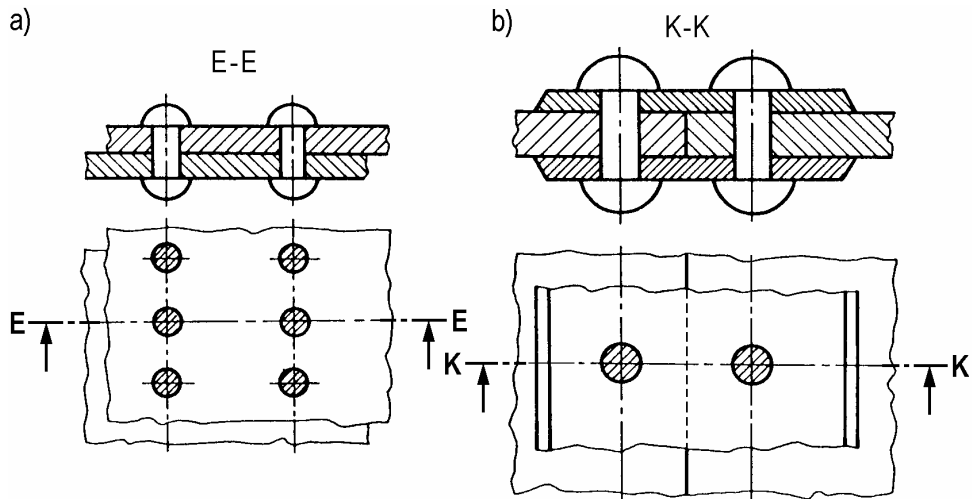
Slika 6.103. Ručica se ne siječe uzdužno



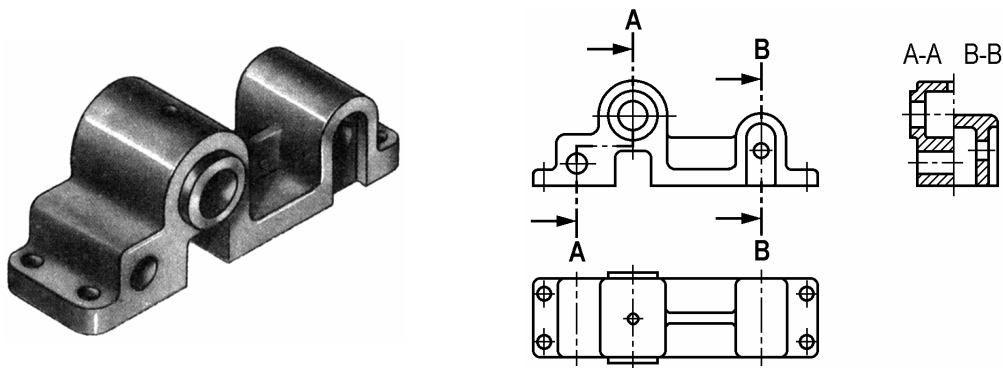
Slika 6.104. Osovine i vratila, te klinovi i pera u spoju s glavinama se ne sijeku (na slici a i d nisu nacrtani nasloni za glavinu)

Dopušteno je da se u jednoj projekciji (radi uštede na vremenu i prostoru) daju dva presjeka, u slučaju da svaki od njih predstavlja simetričan lik (slika 6.106.). U slučajevima kada to nije nužno za razumijevanje konstrukcije strojnog dijela, moguće je ne prikazati pojedine dijelove (npr. rebra) kod složenih presjeka (slika 6.107.a), za razliku od slučaja kada se isti prikazuju nepresječeni (npr. rebro s lijeve strane, tanka spojna stijenka u sredini i ušica s desne strane na slici 6.107.b).

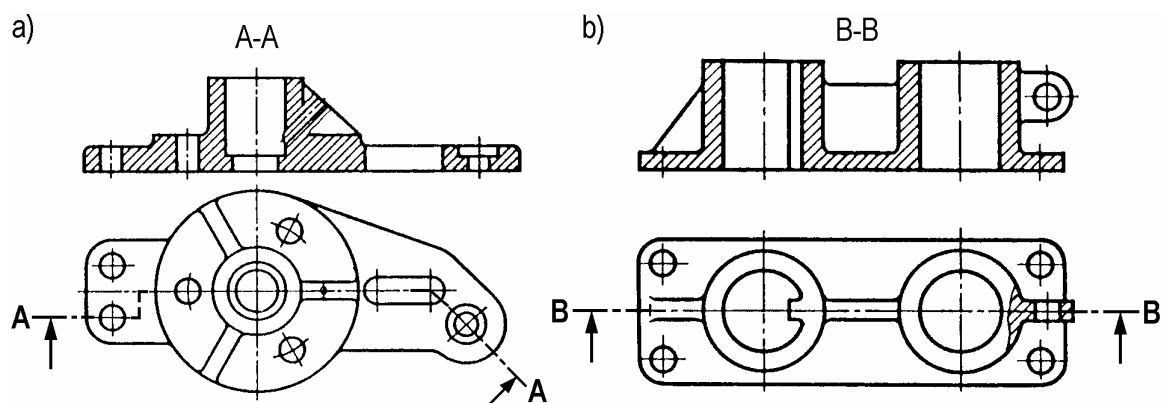
Kod iste presječne ravnine za dva različita smjera gledanja, položaj ravnine definiran je tragom presječne ravnine, a smjer gledanja definiran je strelicama na istoj crti označenim različitim slovima (slika 6.108.a).



Slika 6.105. Zakovice se crtaju u presjeku samo u poprečnom presjeku



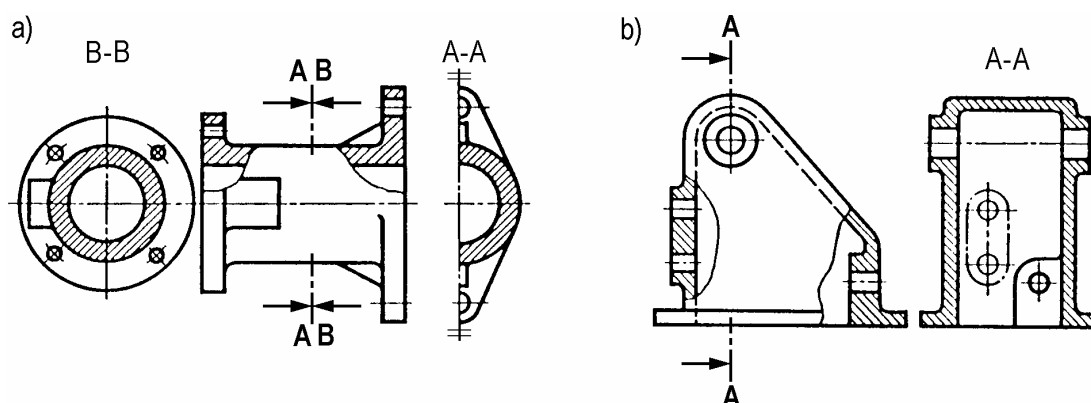
Slika 6.106. Radi uštede na vremenu crtanja i prostoru moguće je dva presjeka (koji su simetrični likovi) crtati na jednom mjestu



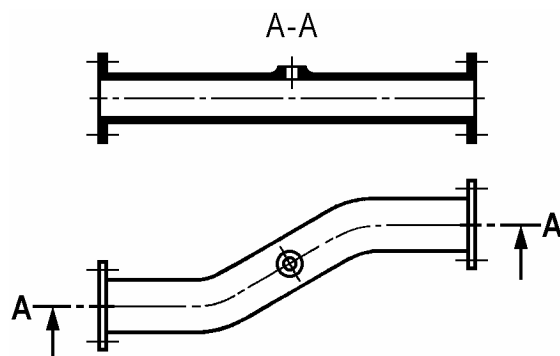
Slika 6.107. Primjer presjeka strojnih dijelova s rebrima, ušicom i spojnom stijenom male debljine

Provrti, koji su raspoređeni po opsegu i nisu presječeni zamišljenom presječnom ravninom (slike 6.94.a i 6.108.a), crtaju se kao da je presječna ravnina vođena upravo preko njih. Iznimno se dopušta (radi pojednostavnjenja crteža i smanjenja broja projekcija) prikazivanje dijela predmeta (koji se nalazi između promatrača i presječne ravnine) na način da se ucrtava izravno u presjeku (slika

6.108.b) crtom 04.2.1 (prema tablici 7.10.). Presjeci izvedeni s jednom kosom i dvije paralelne presječne ravnine prikazuju se kao u slučaju primjera na slici 6.109.



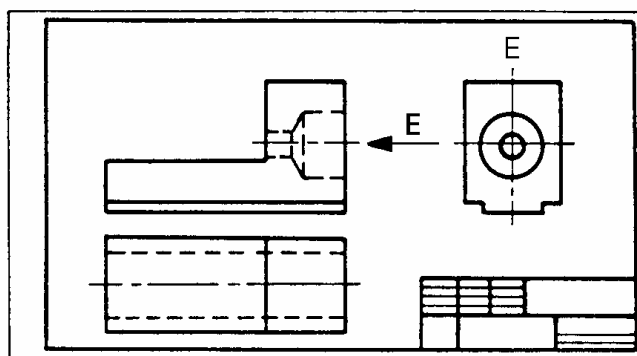
Slika 6.108. Primjeri posebnih mogućnosti prikaza kod uobičajenih presjeka



Slika 6.109. Primjer presjeka izvedenog s jednom kosom i dvije paralelne presječne ravnine

6.7. Posebna pravila i pojednostavnjenja u predočavanju oblika

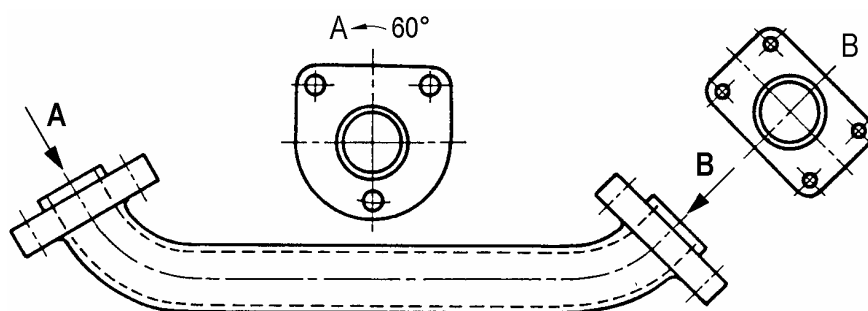
6.7.1. Posebne i djelomične projekcije



Slika 6.110. Smještaj posebne projekcije na već nacrtanom crtežu

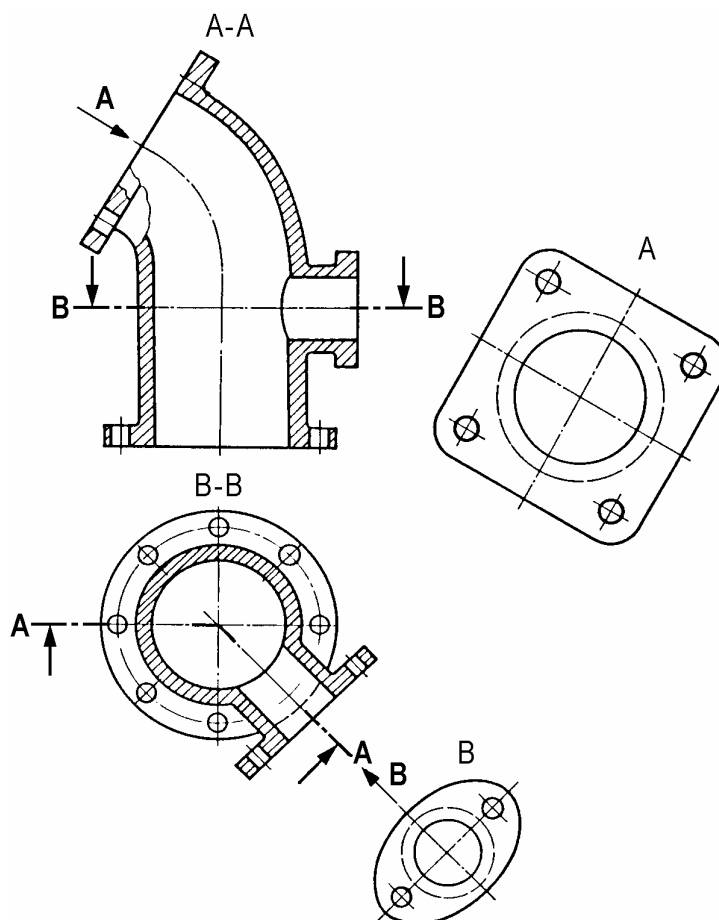
U slučaju potrebe da se na postojećem crtežu prikažu naknadno ustanovljeni zahtjevi (npr. izrada provrta), crta se nova projekcija. Ako za pravilan smještaj ove nove projekcije nema dovoljno mjesta, a želi se iskoristiti već nacrtani crtež, ista će se smjestiti s desne strane (slika 6.110.) (umjesto desnog bokocrta B) gdje još ima

slobodnog mjesta. Ova se projekcija mora posebno označiti i predstavlja posebnu projekciju, tzv. "pogled u smjeru strelice".



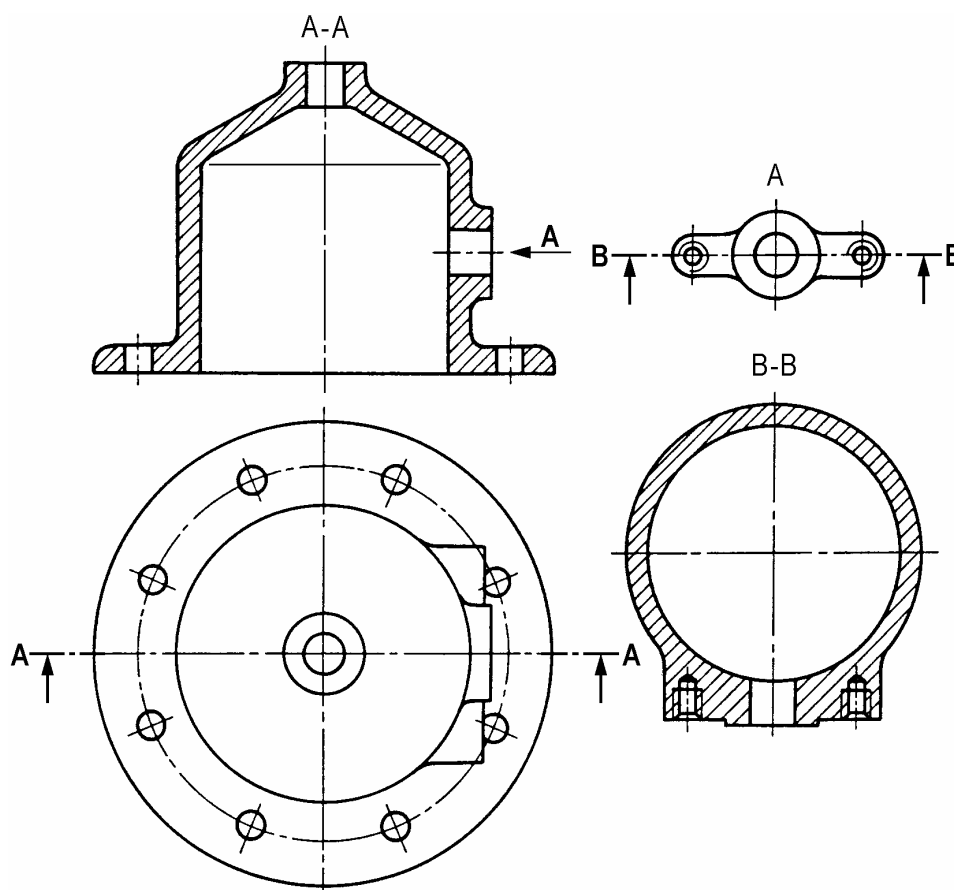
Slika 6.111. Pri predočavanju kosih ploha često se upotrebljava poseban smještaj projekcija

Svaki poseban smještaj projekcija označava se strelicom za koju se rabi crta 01.1 (vidi tablicu 7.10.). Za nepravilno smještene projekcije strelica se orijentira u smjeru gledanja na strojni dio i označava se velikim slovom s početka abecede. Iznad posebno smještene projekcije stavlja se isto veliko slovo (npr. A, B ili slično)(slike 6.111., 6.112., 6.113. i 6.114.).

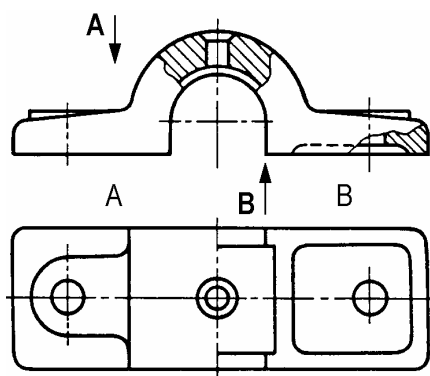


Slika 6.112. Poseban smještaj projekcija u kombinaciji s presjecima

Najčešća primjena ovakvih posebnih smještaja projekcija je kod strojnih dijelova s kosim ploham, koje se crtaju na pomoćnim ravninama crtanja paralelnim s njima. Za zakretanje ovih pomoćnih kosih ravnina radi dobivanja propisanog smještaja projekcija često nema dovoljno mjesta, pa se zbog toga takve projekcije obično smještaju ravno kao i ostale (slike 6.111. i 6.112.), ili gdje ima slobodnog mjesta (slika 6.113.), a na odstupanje se upozorava strelicom i slovom (odnosno natpisom).



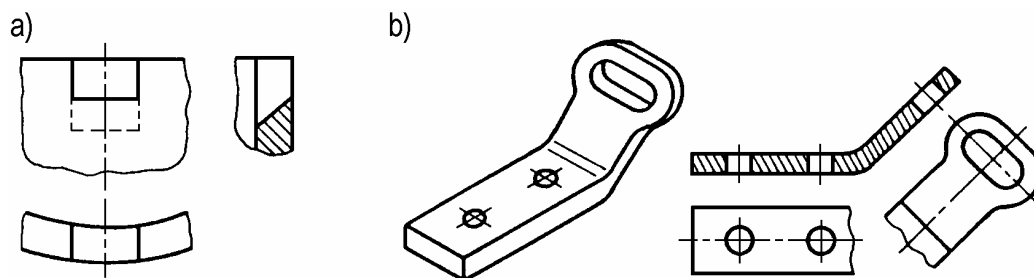
Slika 6.113. Pri predočavanju kosih ploha često se upotrebljava poseban smještaj projekcija na raspoloživom prostoru za crtanje



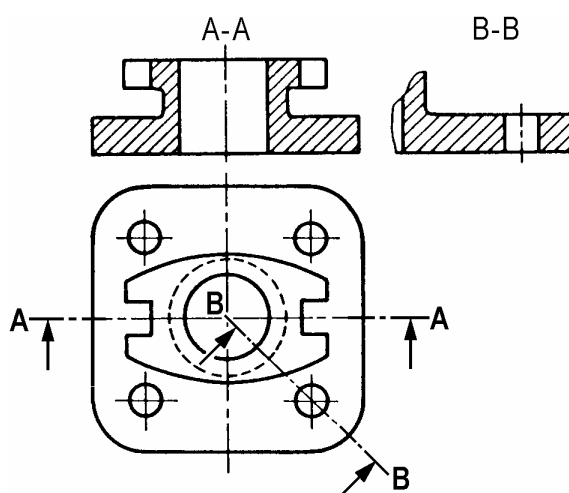
Slika 6.114. Na projekcijama u kojima su ucrтана dva pogleda spojeno, potrebno je označiti i propisan i poseban smjer gledanja na strojni dio

Ako se u jednoj projekciji spoje dva pogleda, potrebno je označiti oba smjera gledanja, bez obzira na to što je jedan od njih propisan. U protivnom crtež bi bio nejasan. Takav primjer dan je kod poklopca radijalnog kliznog ležaja na slici 6.114., na kojoj je pola projekcije (tlocrt T) crtano u pogledu odozgo, dakle propisno (A), a pola u pogledu odozdo (B). Na taj je način moguće uštedjeti jednu projekciju kod simetričnih predmeta.

Djelomične projekcije prikazuju manji dio strojnog dijela koji je i uz predočene projekcije ostao nejasan. Da bi se izbjeglo crtanje cijele projekcije, prikazuje se samo taj nejasni dio (npr. izrez na slici 6.115.a). Djelomična projekcija često se upotrebljava i kod strojnih dijelova s kosim ploham ili kosim elementima. Kosi se element (dio) tada projicira na pomoćnu ravninu kao djelomična projekcija. Tako je npr. tlocrt poluge na slici 6.115.b prikazan s dvije djelomične projekcije. Djelomična projekcija može biti i kao pogled na predmet i kao presjek. Djelomični presjek (B-B na slici 6.116.) daje mnogo zorniju predstavu o obliku nego normalni pogledi ili presjeci zakrenuti u ravninu crtanja.



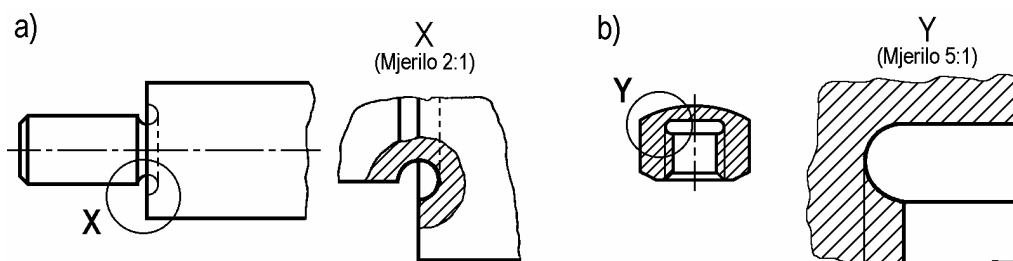
Slika 6.115. Djelomičnim projekcijama razjašnjava se nejasni dio strojnog dijela (a) ili se predočuju strojni dijelovi s kosim elementima (b)



Slika 6.116. Djelomični presjek

Detalji su također jedna vrst djelomične projekcije kojima se u mjerilu za uvećanje pojašnjavaju nejasni dijelovi projekcije. Na slici 6.117.a pojašnjen je zarez osovine potreban da se rukavac (lijeva strana) kvalitetno obradi, a na slici 6.117.b pojašnjen je završetak unutarnjeg navoja. U osnovnoj projekciji ti dijelovi

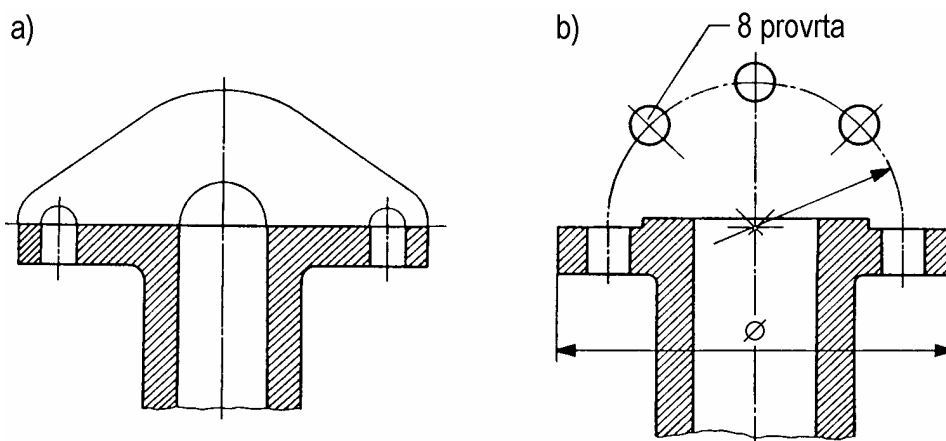
nisu mogli biti jasno predloženi zbog malih dimenzija, a i kotiranje bi bilo praktički nemoguće. Dio predmeta koji se želi pojasniti označava se kružnicom (crta 01.1, tablica 7.10.) i velikim slovom s kraja abecede, a iznad povećane slike dijela predmeta stavlja se slovo kojim je isti označen (npr. X) i mjerilo u kojemu je slika nacrtana (vidi primjere na slikama 6.117.a i 6.117.b).



Slika 6.117. Predočavanje detalja u presjeku

6.7.2. Zakrenute projekcije i zakretanje u ravninu crtanja

Zakrenuta projekcija dio je normalne projekcije strojnog dijela, ali nacrtana uz postojeću projekciju i zbog toga zakrenuta za 90° na suprotnu stranu od normalne. Zakretanje treba zamisliti kao zakretanje ravnine crtanja do položaja one ravnine u kojoj se crta zaokrenuta projekcija (npr. na slici 6.118.a prikazana je cijev s ovalnom prirubnicom u nacrtu, a tlocrt je zakrenut za 90° u ravninu crtanja nacrtu u kojemu je dočrtano pola tlocrta).



Slika 6.118. Provrti u prirubnicama i slično prikazuju se obično primjenom tzv. djelomičnog presjeka u istoj ravlini crtanja u kojoj je nacrtana osnovna projekcija (zakrenuta projekcija nadoknađuje propisanu)

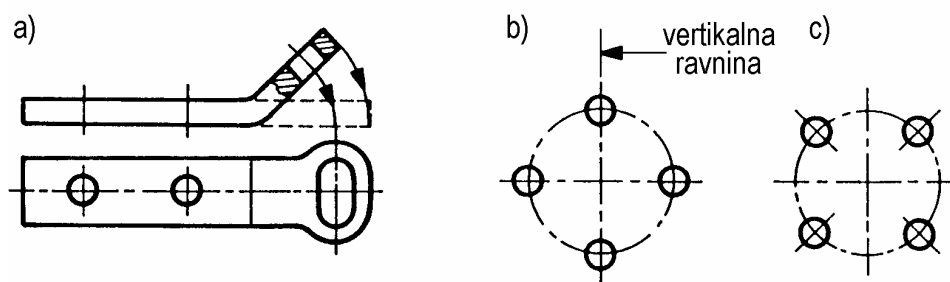
Zakrenute projekcije najčešće se primjenjuju za predložavanje oblika prirubnica i rasporeda provrta u njima. Ako je oblik prirubnice zoran iz normalne projekcije, on se izostavlja u zakrenutoj projekciji, a crta se samo središnja kružnica s provrtima (slika 6.118.b) radi prikaza njihovog rasporeda. Može se nacrtati samo jedan provrt, a ostali se označe samo središnjicama uz navođenje

njihovog ukupnog broja (ponekad i dimenzije, npr. 8 provrta $\varnothing 10$). Obično se crta polovica projekcije, a druga polovica mora biti jednaka, što znači da zakrenuta projekcija ima primjenu samo kod simetričnih strojnih dijelova.

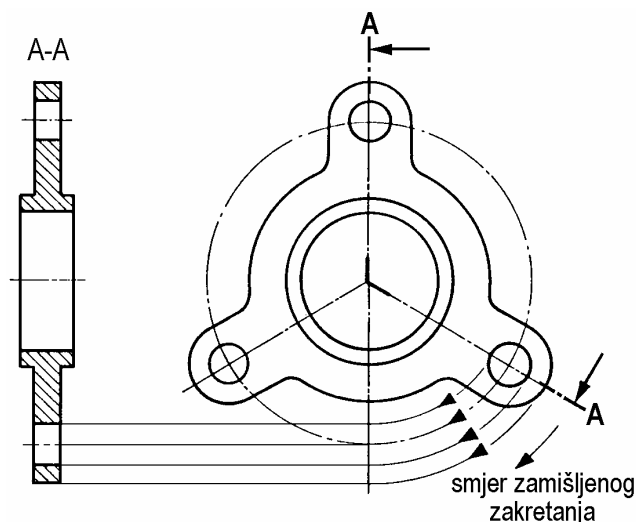
Docrtavanje zakrenute projekcije izvodi se izravno uz projekciju bez razmaka crtom 01.1.6 (tablica 7.10.) (slika 6.118.a), ili ako se crta samo raspored provrta (slika 6.118.b), onda provrte crtati crtom 01.2.1 (tablica 7.10.).

Zakrenutim projekcijama štedi se na broju projekcija, a osim uštede u vremenu crtanja, predodžba strojnog dijela zauzima manje prostora na crtežu s obzirom na prostor koji bi zauzela druga projekcija nacrtana u cijelosti.

Strojni dio moguće je dimenzionirati (jasno kotirati) samo ako je predodžen u pravoj veličini, a to je slučaj ako se projiciranje izvodi na ravninu paralelnu s plohom strojnog dijela. Ova paralelnost između ravnine crtanja nacrt i tlocrta očituje se u horizontalnom položaju, a između ravnine crtanja nacrt i bokocrta u vertikalnom položaju.



Slika 6.119. Kosi dijelovi mogu se predočiti zakretanjem u ravninu crtanja (a), a provrti se nikada ne smještaju u vertikalnu ravninu (b), već se zakreću (c)



Slika 6.120. Zakretanje provrta u ravninu crtanja

Poluga s kosim krakom prikazana na slici 6.115.b može se predočiti zakretanjem kosog kraka (desna strana) do ravnine crtanja (slika 6.119.a), tj. do položaja paralelnog s ravninom crtanja tlocrta, a tada projicirati u tlocrt. U ovom

se slučaju tlocrt i nacrt ne poklapaju, pa se duljine moraju kotirati u nacrtu, a širine u tlocrtu.

U slučaju manjeg broja provrta u priрубnicama (do 12 provrta [6]), provrti se nikada ne smještaju u vertikalnu ravninu (slika 6.119.b), već otklonjeni od nje (slika 6.119.c).

Točno projiciranje npr. provrta na strojnom dijelu prikazanom na slici 6.120. ne bi imalo smisla jer bi se provrt s desne strane morao u presjeku crtati kao nevidljiv brid (crtkano). Iz toga se razloga provrti i ušice u mislima zakreću u ravninu crtanja (slika 6.120.) i tako projiciraju. Na taj se način dobiva simetričan presjek (vidi A-A na slici 6.120.), što daje stvarniju sliku strojnog dijela, iako ona nije u skladu s nacrtom geometrijom. Točan broj i razmještaj provrta i ušica vidljiv je iz pogleda na strojni dio.

Ako postoji više od šest provrta, ušica, ramena, kuglica ili slično [6], njihov se broj upisuje riječima i brojem kako pri izradi kod može bitnog brojanja ne bi došlo do propusta. To je dovoljno ako je smještaj pravilan, međutim ako je smještaj nepravilan, potrebno je osim projekcije riječima napisati upozorenje na ovu nepravilnost.

6.7.3. Razvijeno stanje

Različiti strojni dijelovi koji se izrađuju od limova i poluproizvoda (kao što su npr. plosnati čelik, cijevi, kutnici i sl.) moraju se izrezati u razvijenom (ispruženom) stanju, tako da se nakon savijanja dobiju potrebne dimenzije. Ovaj postupak rezanja često se u praksi zove krojenje materijala. Za ovakve strojne dijelove potrebno je osim savijenog oblika nacrtati i razvijeno stanje (razvijeni pogled) za slučaj da se u razvijenom stanju izvede osim rezanja neke druge tehnološke operacije (npr. savijanje, izrada provrta itd.). U ovo razvijeno stanje treba ucrtati prijevoje (linije savijanja) crtom 01.1.11 (tablica 7.10.). Ako su prijevoji oštri i limovi tanki, dovoljna je samo jedna crta za budući brid predmeta (slika 7.52.). Međutim ako su lukovi blaži i limovi deblji, nužno je nacrtati početak i završetak prijevoja (polumjer savijanja), dakle dvije tanke crte 01.1.11 (tablica 7.10.) (slika 7.51.) s kotiranim razmakom. Najmanji polumjer za savijanje na hladno zavisi od vrste materijala. Za dobar mekani materijal uzima se da je nešto veći od debljine lima, a za cijevi da je jednak trostrukom nazivnom promjeru [6].

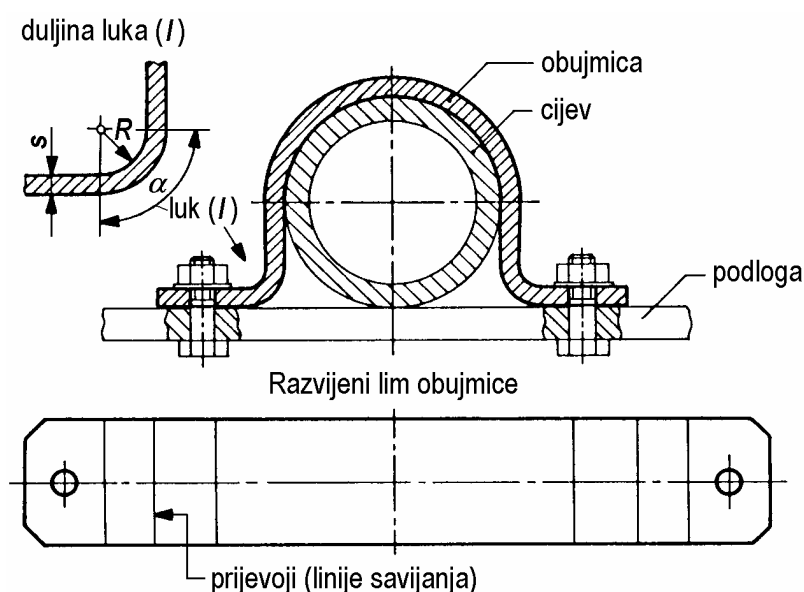
Duljina savijenih strojnih dijelova računa se po neutralnoj osi, tj. po središnjici debljine lima, odnosno središnjici cijevi. Međutim kutovi savijanja često nisu pravi (90°) pa je u takvim slučajevima otežano izračunavanje duljine. Iz ovog razloga u praksi se upotrebljava izraz za približno izračunavanje duljine lukova (l) mjerenih na vanjskoj strani strojnog dijela za bilo koji kut α (slika 6.121.):

$$l = 0,01743 \cdot \alpha \cdot (0,4 \cdot s + R)$$

gdje je:

l - duljina luka mjerena s vanjske strane, mm
 α - kut savijanja u stupnjevima, °
 s - debljina lima, mm
 R - unutarnji polumjer (radijus) savijanja, mm.

Ako se želi doći do ukupne duljine, potrebno je duljinama lukova dodati duljine ravnih dijelova.



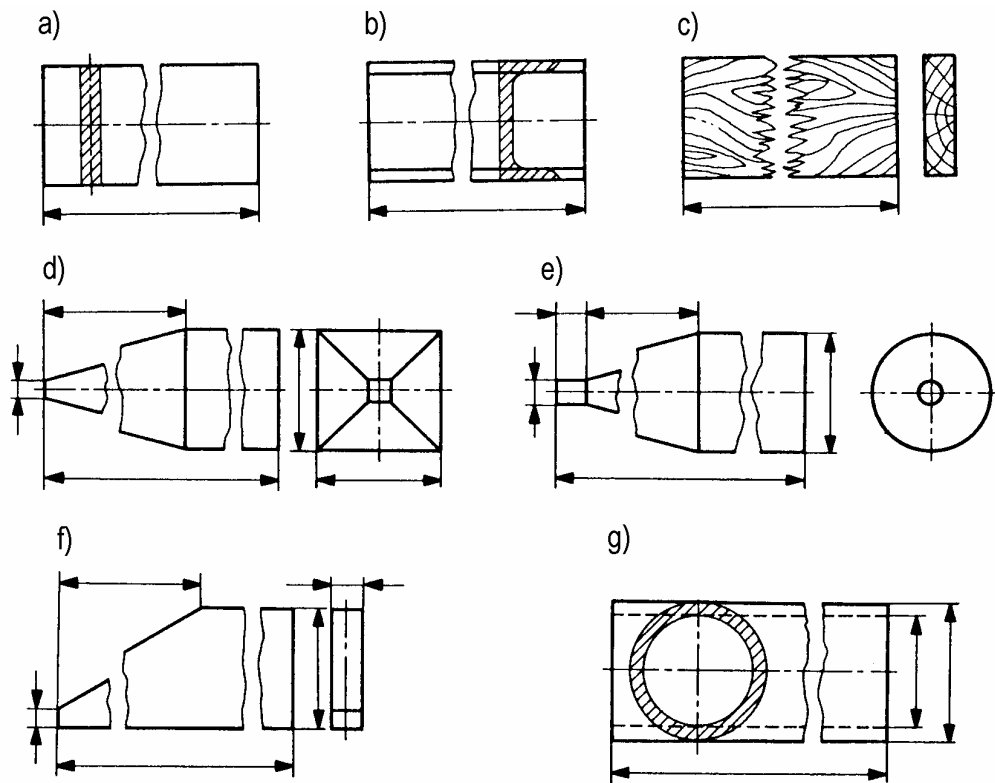
Slika 6.121. Cijevna obujmica nacrtana u savijenom i razvijenom stanju s ucrtanim prijevojima

Na slici 6.121. prikazana je cijevna obujmica (nacrtana crtom 01.2.1, tablica 7.10.) s tanko nacrtanom cijevi, podlogom i vijčanim spojem (nacrtani crtom 01.1, tablica 7.10.). U razvijenom stanju dan je prikaz prijevoja (linija savijanja - početak i završetak) i provrta koji se moraju izraditi prije savijanja.

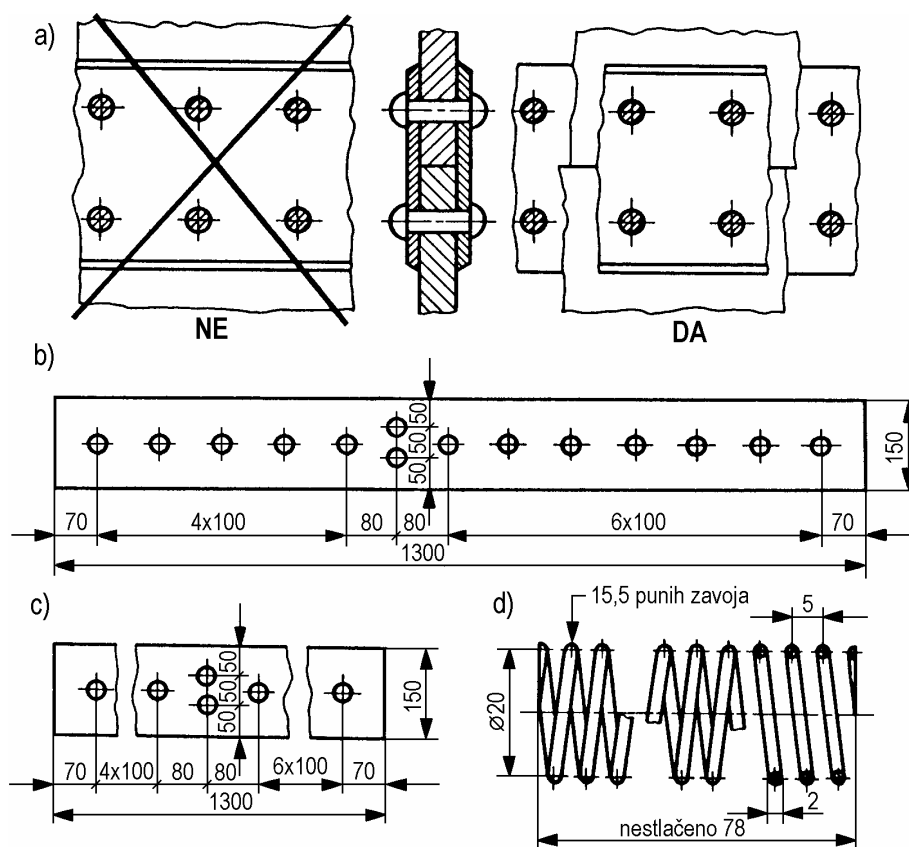
Ponekad je dovoljno samo riječima i brojem navesti kolika je razvijena duljina. Važno je da se taj podatak nikada ne zaboravi na crtežima strojnih dijelova koji su dobiveni savijanjem lima ili nekog drugog profilnog poluproizvoda.

6.7.4. Prekidi - crte loma

Kada se želi uštedjeti na prostoru, dugi predmeti jednoličnog i jednolično promjenjivog presjeka mogu se crtati prekinuti. Prekidi se izvode tako da se dugi predmeti (slika 6.123.b) prekidaju pri krajevima ili na nekim važnijim prijelazima, srednji dio se odbacuje (ne crta se), a približeni se krajevi nacrtaju u ortogonalnoj projekciji (slika 6.123.c). Kada se ovakvi dijelovi ne bi prekidali, morali bi se (zbog svoje duljine) crtati znatno umanjeni. Dakle, prekidi omogućavaju crtanje u većem mjerilu, a na taj način i jasniju predodžbu predmeta. Kotira se stvarna mjera (slike 6.123.b i 6.123.c) koju ima neprekinuti predmet, a crte loma označavaju da je isti predmet i nacrtan skraćen.



Slika 6.122. Primjeri uporabe prekida (crta loma)



Slika 6.123. Primjeri uporabe prekida (crta loma) i završetaka

Prekidi se mogu primijeniti i u slučajevima predmeta s jednolično promjenljivim presjecima, npr. kod suženja (slika 6.122.d), konusa (slika 6.122.e) i nagiba (slika 6.122.f). Iz slike 6.122. (d, e i f) i slike 6.123.c vidljivo je da se predmeti mogu prekidati i više puta, ali tada treba imati na umu da je to moguće samo unutar onih dijelova predmeta gdje nema promjena. Dijelovi unutar kojih ima promjena ne smiju se prekidati. Na slikama 6.123.b i 6.123.c prikazana je letva s provrtima te način kotiranja u slučaju neprekinute i prekinute letve.

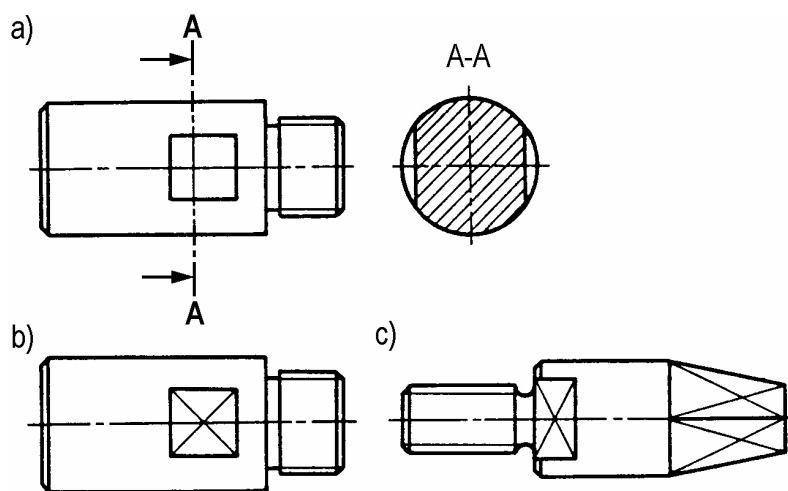
Završetak je jednostruki prekid koji se primjenjuje u slučaju kada ostali dijelovi predmeta nemaju važnost, pa je moguće nakon prikaza jednog dijela jednostavno isti jednostrano prekinuti. Takav slučaj bi bio npr. da se nacrtaju samo lijeve ili desne strane predmeta s nacrtanim prekidima na slici 6.122.a, b, c i g.

Prekidi i završeci, kao i granice između pogleda i presjeka kod djelomičnih presjeka, crtaju se prostoručno crtom tipa 01.1.18 (vidi tablicu 7.10.).

Zgodno iscrtanim crtama završetaka često se postiže vrlo dobra zornost predmeta npr. kod zakovanog spoja na slici 6.123.a (desno), za razliku od nejasnog prikaza dobivenog pogledom s loše odabranim završecima na slici 6.123.a (lijevo). Završeci i prekidi mogu se zgodno upotrebljavati i u kombinaciji s djelomičnim presjecima kao što je to npr. kod tlačne cilindrične zavojne opruge od žice kružnog presjeka prikazane na slici 6.123.d.

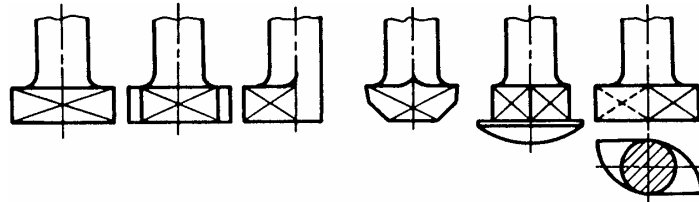
6.7.5. Označavanje ravnih ploha

Ravne plohe označavaju se samo na predmetima čiji je osnovni oblik rotacijski te ako takvi predmeti nisu česti, npr. šesterokute i osmerokute matice. Označavaju se dijagonalnim crtama vrste 01.1.10 (tablica 7.10.). Ovim se oznakama ravna ploha bolje ističe, a često i nije potrebno crtanje druge projekcije jer crtanje dijagonala također predstavlja jedan od načina uštede u broju projekcija (slika 6.124.). Kod predmeta kod kojih je većina ploha ravna nije uobičajeno stavljati ove oznake.

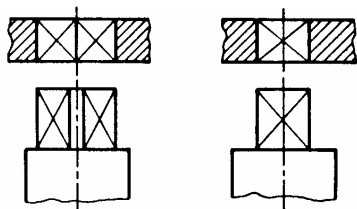


Slika 6.124. Primjeri uporabe prekida (crta loma) i završetaka

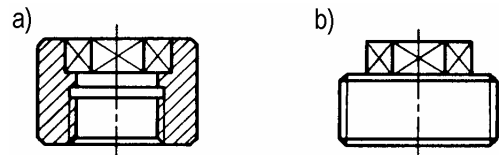
Kod specijalnog vijka s valjkastim tijelom bez glave (slika 6.124.a) mora postojati mogućnost pritezanja ključem. Najjednostavnije je da se valjkasto tijelo obradi na dimenziju otvora ključa. Bez oznake dijagonalama ne zna se što predstavlja nacrtani četverokut, pa je nužno pojašnjenje presjekom (A-A) koji je vođen preko tog dijela. S označenom ravnom plohom (slika 6.124.b) tlocrt (u presjeku) je suvišan.



Slika 6.125. Ravne plohe kod različitih specijalnih glava vijaka često se označavaju dijagonalno povučenim crtama



Slika 6.126. Označavanje ravnih ploha kod četverokuta



Slika 6.127. Označavanje ravnih ploha kod šesterokuta

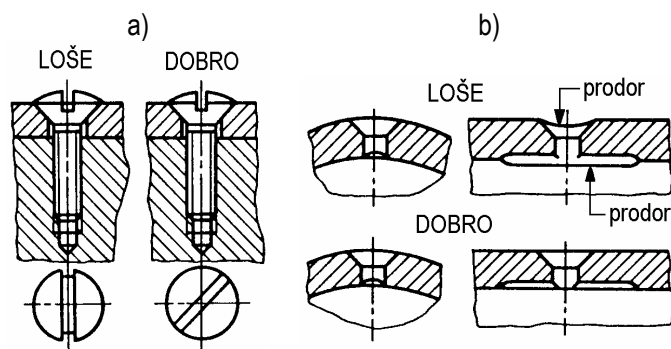
Ravne plohe mogu se označiti i kod suženja kvadratnog presjeka (slika 6.124.c), u slučaju da se želi uštedjeti na broju projekcija. Označavanje ravnih ploha često se upotrebljava kod različitih specijalnih glava vijaka (slika 6.125.) gdje zbog oznaka i skraćenog kotiranja druga projekcija često nije nužna. Kod četverokutnih ispusta ili šupljina također se dijagonalama označavaju ravne plohe (slika 6.126.).

Kod šesterokutnih ili osmerokutnih površina vanjskih dijelova predmeta nije uobičajeno zbog učestalosti označavati ravne plohe (slika 6.127.b te šesterokute matice, glave vijaka i slično), ali kod istih takvih šupljina to se redovito čini (slika 6.127.a).

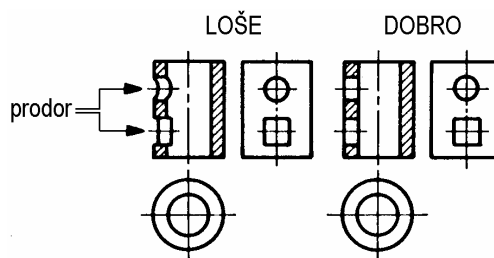
6.7.6. Pojednostavnjenja

U praksi se ne traži da je tehnički crtež u svim svojim detaljima nacrtan po pravilima nacrtne geometrije, već da je jednostavan i jasan za onoga kome se putem crteža prenosi informacija (npr. tehnologu, radniku u proizvodnji, kontroloru i sl.). Jasno je da nisu dopuštena gruba odstupanja od pravila nacrtne geometrije, ali zato se često zanemaruju sitni prodori, prijelazi, dvostruki bridovi, elipse kosih kružnica malih dimenzija i slično koji su bez značenja, a i da su nacrtani točno po pravilima, crtež bi bio nepregledan i crtanje bi bilo otežano. Dakle, detalji koji bi

bez potrebe otežavali stvaranje predodžbe o obliku predmeta izostavljaju se ili se crtaju pojednostavnjeno, a ne točno u skladu s nacrtnom geometrijom.

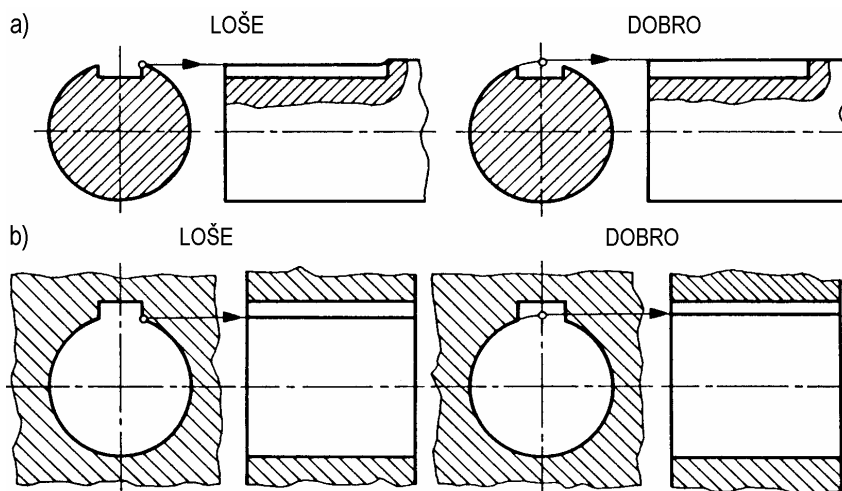


Slika 6.128. Loše i dobro (pojednostavnjeno) crtanje bridova (a) i prodora (b) strojnih dijelova



Slika 6.129. Mali prodori s valjkastim tijelima crtaju se pojednostavnjeno

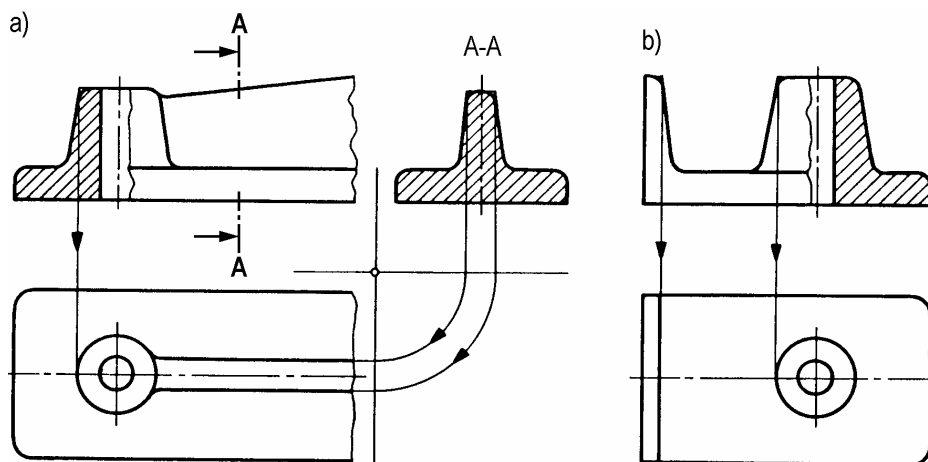
Utor za odvijač na upuštenoj i lećastoj glavi vijka nalazi se ispod razine gornjeg brida dijela koji se spaja s podlogom, pa bi se točnim crtanjem dobila nejasna slika (vidi sliku 6.128., lijevo). Stoga se gornji brid dijela izostavlja jer je tako crtež jasniji (vidi sliku 6.128., desno). Sam utor u tlocrtu izgledao bi prema pravilima nacrtne geometrije kao što je to prikazano lijevo na slici 6.128.a, a ipak se pojednostavnjeno prikazuje otklonjen bez dvije crtice koje označavaju granice dubine utora (vidi tlocrt desno na istoj slici).



Slika 6.130. Osovine i vratila (a) te glavine (b) s utorima za pera ili klinove crtaju se kao da prodori ne postoje

Prodori nastali zbog manjih provrta kružnog ili kvadratnog oblika (slika 6.129.) izostavljaju se i crtaju se pojednostavnjeno (ista slika, desno). Na provrtu za podmazivanje kod radijalnog kliznog ležaja također se ne crtaju prodori označeni na slici 6.128.b (gore), što bi bilo točno, već se crtaju ravni bridovi kao da prodori uopće ne postoje (kao na slici 6.128.b, dolje). Na osovinama i vratilima te glavinama s utorima za pera i klinove (slika 6.130.) trebalo bi crtati postojeće

bridove koji odgovaraju rubu utora, a radi pojednostavnjenja crtaju se bridovi definirani konstrukcijom na slikama 6.130.a i 6.130.b (desno).



Slika 6.131. Pojednostavnjeno crtanje skošenja (nagiba i konusa) kod lijevanih strojnih dijelova (dvostruki bridovi se ne crtaju!)

Lijevani strojni dijelovi izvede se s nagibima ili konusima (skošenjima) koji omogućuju lakše vađenje modela iz pijeska, a da se pri tome ne zaruši pješčani kalup. Kod točnog crtanja morali bi se crtati dvostruki bridovi (donji i gornji) za svako skošenje, što bi znatno usložnilo crtež. Pojednostavnjeno se crtaju samo jednostruki bridovi koji se definiraju na način kao što je to prikazano na slikama 6.131. a i 6.131.b. Isto se načelo primjenjuje i kod crtanja normalnih valjanih nosača kao što su npr. I - nosač, U - nosač, L - nosač (ili kutnik) i slično.

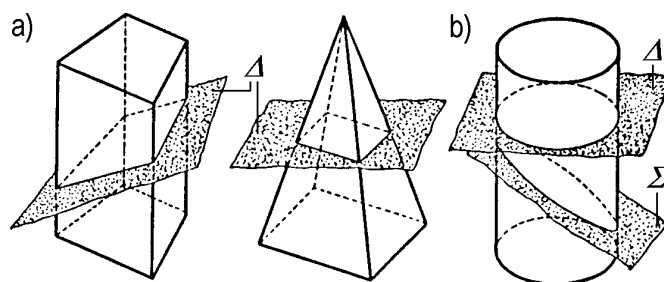
6.8. Presjeci, prodori i razvijanje plašteva geometrijskih tijela

6.8.1. Presjeci

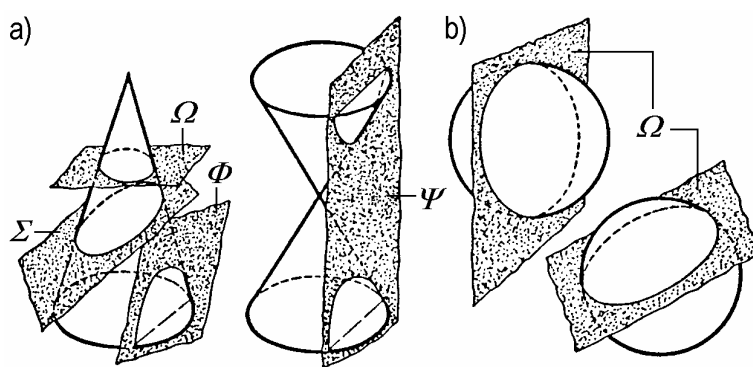
Ako se uglati tijela presjeku proizvoljno položenim presječnim ravninama Δ dobivaju se presjeci koji su višekutnici s brojem kutova koji zavise od broja stranica tijela (slika 6.132.a). U slučaju presijecanja valjaka i stožaca ravninom, dobivaju se različiti presjeci čiji oblik ovisi o položaju presječne ravnine u odnosu na tijelo. Ako se isključe neki specijalni slučajevi presjeka, onda se za rotacijske valjke i stošce presjeci njihovih ploha mogu svrstati u četiri skupine [5, 6, 7, 8, 10, 11, 24]:

- 1) *kružnica* - ako je presječna ravnina Δ (slika 6.132.b), odnosno Ω (slika 6.132.a) paralelna s ravninom osnovice valjka ili stošca, koja je okomita na njihove osi;
- 2) *elipsa* - ako je presječna ravnina Σ (slike 6.132.b i 6.133.a) nagnuta prema ravnini osnovice valjka ili stošca (kod stošca je nagnuta tako da siječe sve izvodnice stošca u konačnosti);
- 3) *parabola* - ako je presječna ravnina Φ (slika 6.133.a) paralelna s jednom izvodnicom rotacijskog stošca;

- 4) *hiperbola* - ako je presječna ravnina Ψ (slika 6.133.a, desno) paralelna s dvije izvodnice rotacijskog stošca.



Slika 6.132. Presjeci uglatih geometrijskih tijela (a) i presjeci rotacijskog valjka (b)



Slika 6.133. Presjeci rotacijskog stošca (a) i kugle (b)

Presjeci kugle s proizvoljno položenim ravninama uvijek su kružnice (slika 6.133.b). Ako presječna ravnina prolazi središtem kugle, presjek je kružnica najvećeg polumjera.

Temeljitim proučavanjem presjeka bavi se nacrtna geometrija, a njihova primjena istih u tehničkom crtanju pojednostavnjena je približnim metodama određivanja.

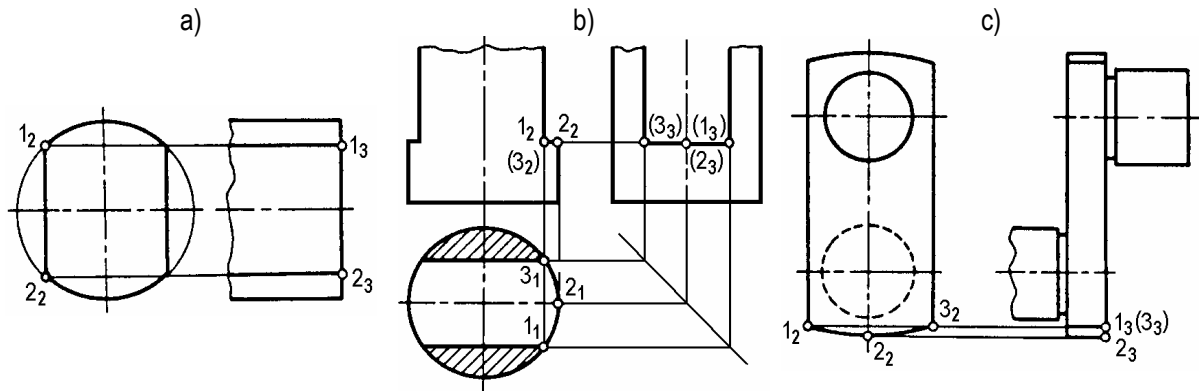
Većina strojnih dijelova sastavljena je od rotacijskih tijela jer se ona najlakše obrađuju. Rotacijska tijela su ona čiji plašt nastaje rotacijom neke crte oko osi rotacije. U rotacijska tijela nastala na taj način spadaju valjak, stožac i kugla. Međutim rotacijska tijela su i elipsoid, paraboloid, hiperboloid, tijela nastala rotacijom elipse, parabole, hiperbole.

Presjek rotacijskih tijela s ravninom izvodi se uglavnom na isti način kao i presjek kugle s ravninom. Presjeci rotacijskih ploha s ravninama okomitim na os rotacije (središnjicu tijela) jesu kružnice. Ravnine po kojima se izvodi obrada strojnog dijela gotovo uvijek su paralelne ili okomite na središnjice rotacijskih tijela od kojih je strojni dio sastavljen.

Smještaj pojedinih projekcija treba biti takav da se točke presjeka mogu izravno projicirati i prenositi iz susjednih, odnosno u susjedne projekcije. Pri određivanju presjeka često se odstupa od utvrđenog smještaja i zakretanja

pomoćnih ravnina pa se pojedine točke presjeka određuju najkraćim putem (što će u nekim slučajevima biti primijenjeno i u ovoj točki).

U primjerima navedenim u ovoj točki dan je pregled nekih jednostavnih i vrlo složenih presjeka koji se susreću u praksi kod izvedenih strojnih dijelova. U navedenim primjerima često se rabe najjednostavnije metode za određivanje presjeka.



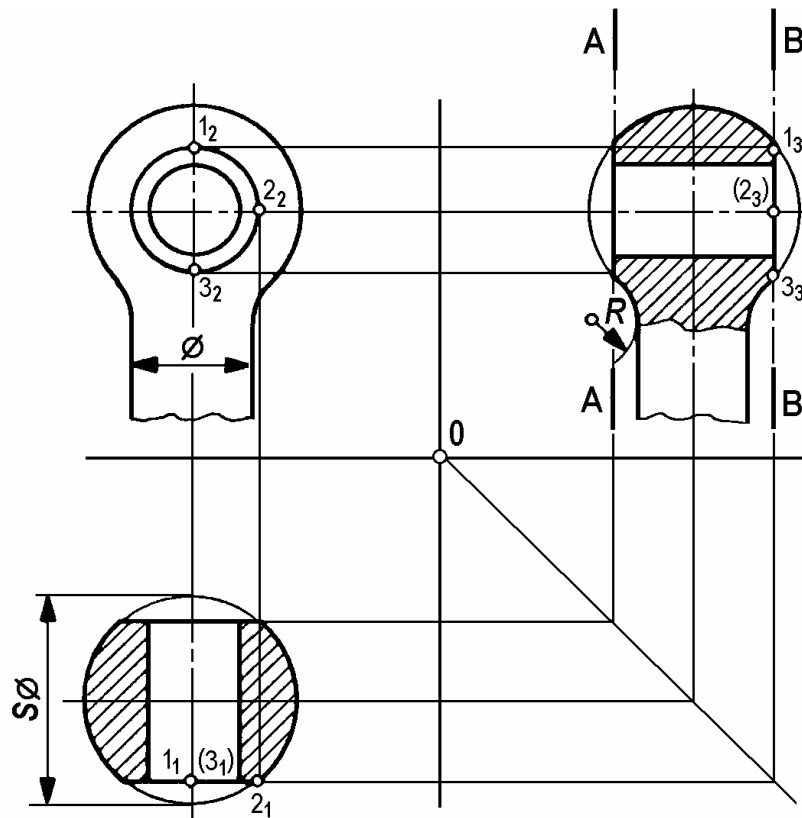
Slika 6.134. Odrez valjkaste motke (a) i koljenastog vratila (c) te prerez valjkaste motke (b)

Valjkasta motka kružnog presjeka, odrezana s dvjema paralelnim ravninama jednako udaljenim od uspravne središnjice, prikazana je na slici 6.134.a. Presjek je predložen s dvjema dužinama, od kojih je jedna određena točkama 1_2 i 2_2 u nacrtu (projekcije tih točaka prikazane su u bokokrtu kao točke 1_3 i 2_3). Načelo projiciranja karakterističnih točaka kod prereza valjkaste motke i odreza kod koljenastog vratila dan je na slikama 6.134.b i 6.134.c. Projekcije točaka u tlocrtu (T), prema prethodno iznesenom, označene su brojevima s indeksom 1, u nacrtu (N) s indeksom 2, a u bokokrtu (B) s indeksom 3. Oznake u zagradama predstavljaju točke koje nisu u ravnini crtanja.

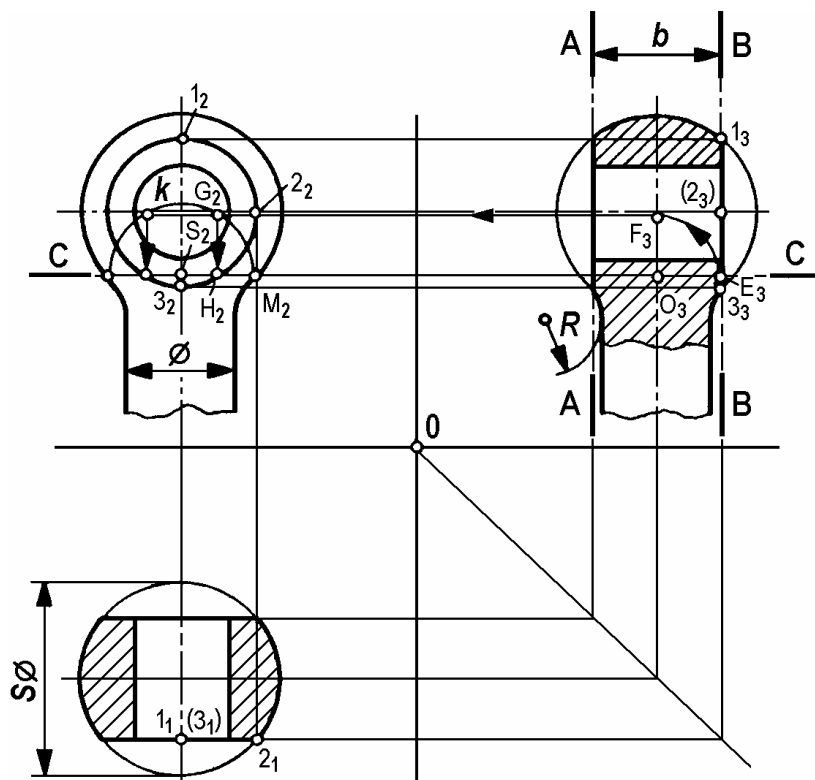
Na slikama 6.135., 6.136. i 6.137. prikazan je primjer valjkaste motke koja prelazi u kuglastu glavu s prijelazom u obliku anuloida¹⁶ polumjera kružnice izvodnice R . Glava je odrezana ravninama A-A i B-B. Presjek ovim ravninama predločava se u nacrtu krivuljom čije točke treba odrediti. Ovisno o položaju ravnine A-A i B-B, mogu nastupiti tri slučaja presjeka:

- 1) presjek je kružnica ako ravnine A-A i B-B ne ulaze u prijelazni anuloid polumjera kružnice izvodnice R , već sijeku samo kuglu (slika 6.137.);
- 2) presjek je izdužen ako ravnine A-A i B-B sijeku anuloid (slika 6.136.);
- 3) presjek jednim dijelom prelazi u šiljak ako je razmak između presječnih ravnina A-A i B-B jednak promjeru motke (slika 6.136.).

¹⁶ Otvoreni torus (anuloid) ili prstenasta ploha, koja nastaje rotacijom kružnice oko čvrstog pravca u njezinoj ravnini tako da pravac tu kružnicu ne siječe.



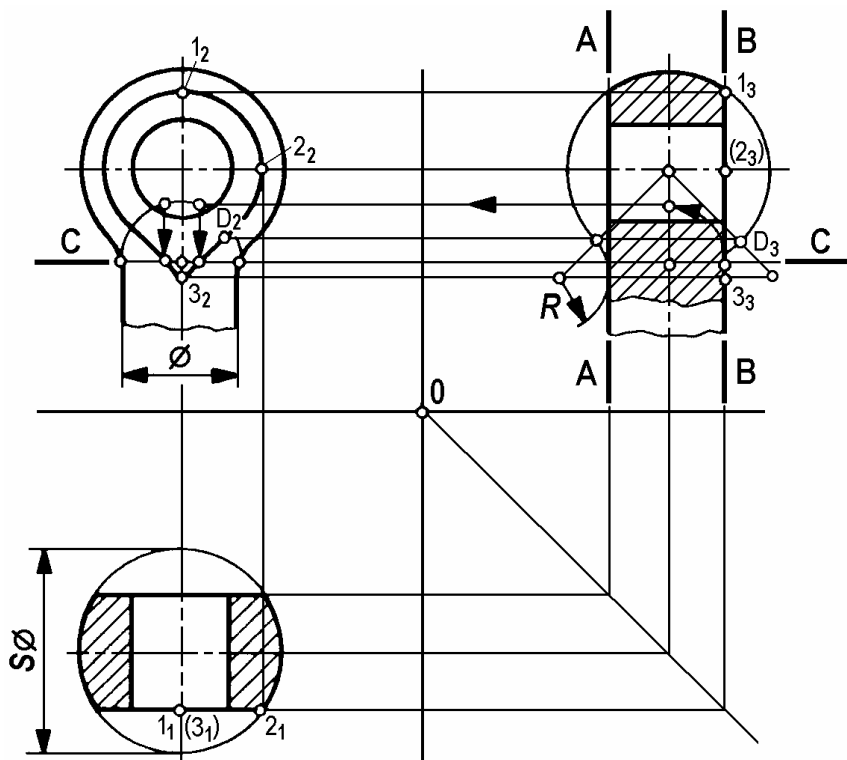
Slika 6.135. Određivanje točka presjeka u slučaju da presječne ravnine A-A i B-B ne ulaze u prijelazni anuloid



Slika 6.136. Određivanje točka presjeka u slučaju da presječne ravnine A-A i B-B ulaze u prijelazni anuloid

Krajnje točke presjeka 1, 2 i 3 određuju se iz bokocрта i tlocrta (slika 6.135.). Ostale točke mogu se dobiti presjekom proizvoljne ravnine C-C kuglaste glave u kružnici k , koja se zakreće u ravninu crtanja (slika 6.136.). Središte ove kružnice S nalazi se na osi simetrije nacrtu, a polumjer ($\overline{S_2M_2}$) je određen konturom u nacrtu.

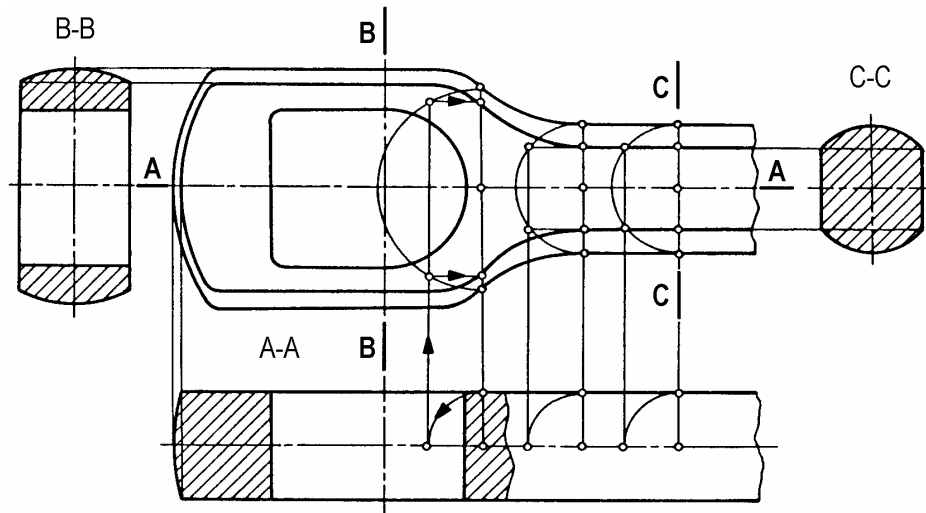
Prijenosom odreska $\overline{O_3E_3} = \overline{O_3F_3} = b/2$ na kružnicu k u točku G_2 (koja se projicira u trag ravnine C-C) dobiva se točka presjeka H_2 (slika 6.136.). Ako je glava odrezana ravninama A-A i B-B tako da je razmak između njih jednak promjeru motke, točka 3_2 određuje se okomicom na središnjicu u bokocrtu povučenom iz središta umetnutog anuloida polumjera zakrivljenja R (slika 6.137.). Do točke D_2 u nacrtu (koja se u bokocrtu određuje spajanjem središta anuloida - točka D_3), presjek je kružnica, a ostale se točke mogu odrediti na već opisan način pomoću proizvoljne ravnine C-C.



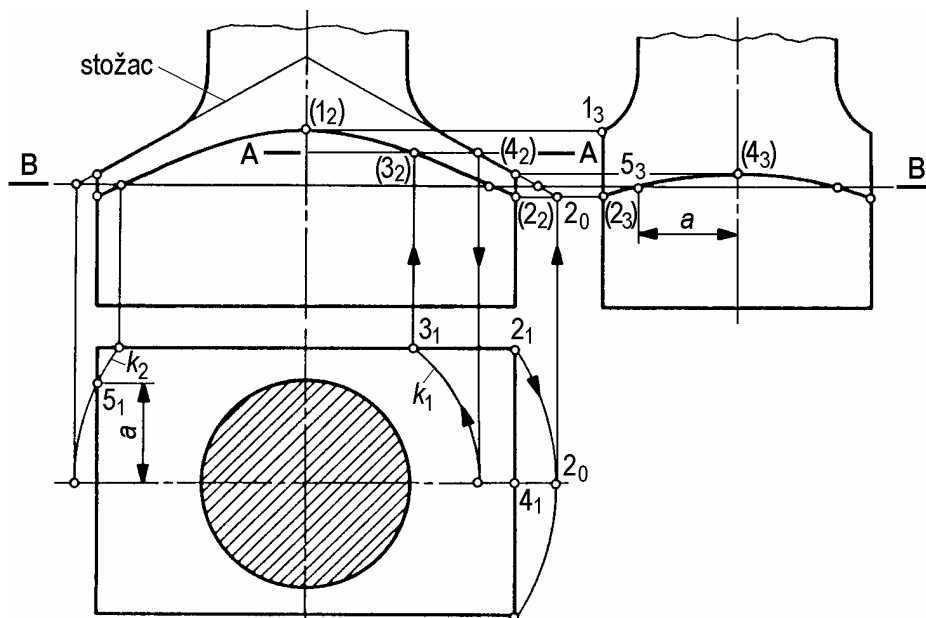
Slika 6.137. Određivanje točaka presjeka u slučaju da presječne ravnine A-A i B-B ulaze u anuloid tako da je razmak između njih jednak promjeru motke

Na slici 6.138. prikazana je zatvorena glava ojnice koja je kombinirano rotacijsko tijelo od odsječka kugle, valjka i dva anuloida. Glava ojnice odrezana je proizvoljnim presječnim ravninama koje su paralelne jedna u odnosu na drugu i jednako udaljene od središnjice (rezultat tog odreza vidljiv je u tlocrtu slike 6.138.). Presjek ravninom A-A daje tlocrt glave ojnice. Svi presjeci okomitim ravninama na uzdužnu os glave ojnice jesu kružnice (ili dijelovi kružnice), što je vidljivo iz lijevog bokocрта (B-B), odnosno desnog bokocрта (C-C). Točke presjeka dobivenog odrezom određuju se crtanjem tragova zamišljenih ravnina koje

poprečno presijecaju glavu ojnice, a paralelne su s poprečnim ravninama B-B i C-C, te postupkom zakretanja kružnica u ravninu projekcije u kojoj je potrebno odrediti presjek. Pojedine točke presjeka dobiju se na taj način da se karakteristične točke dobivene presjekom tragova zamišljenih presječnih ravnina i konture odreza u tlocrtu zakrenu ulijevo do središnjice tlocrta. Za tako dobivene točke potraže se karakteristične presječne točke kružnica u nacrtu, koje projicirane natrag na trag zamišljene presječne ravnine daju tražene točke presjeka (tok cijelog postupka označen je strelicama na slikama 6.136., 6.137. i 6.138.).



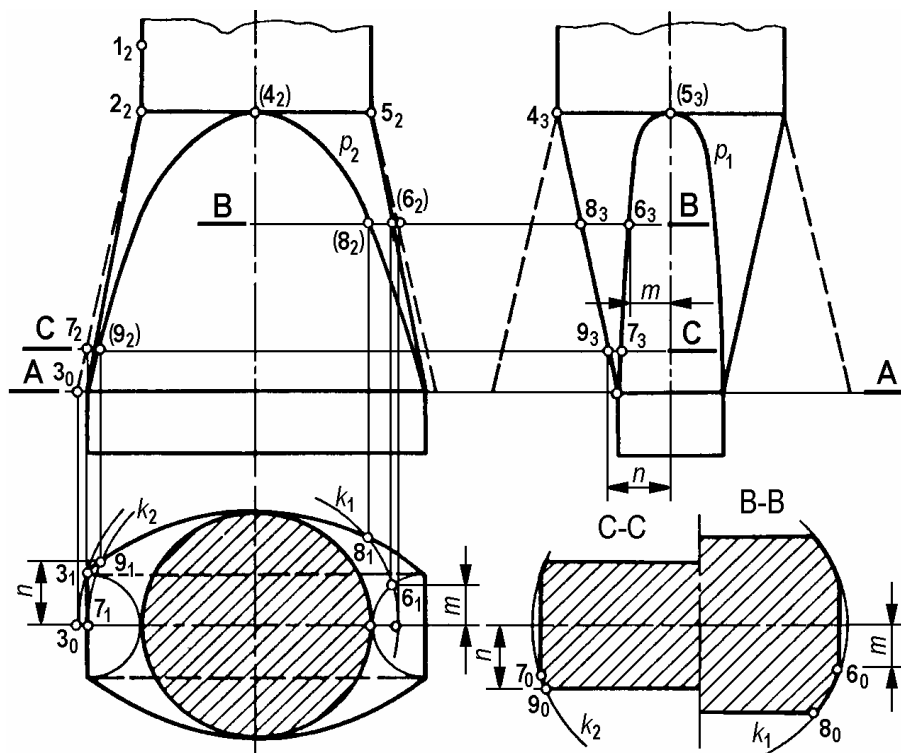
Slika 6.138. Odrez glave ojnice



Slika 6.139. Prijelaz rotacijskog u prizmatično tijelo pomoću anuloida i stošca (odnosno, prijelaz kružnog u prizmatični presjek)

Vrlo čest slučaj kod strojnih dijelova jest kombinacija rotacijskog i prizmatičnog tijela s prijelazom pomoću anuloida i stošca (slika 6.139.). Najviša

točka krivulje presjeka u nacrtu 1_2 određena je s točkom 1_3 u bokocrtu. Najniža točka ove krivulje 2_2 dobije se zakretanjem od točke 2_1 do točke 2_0 u tlocrtu i projiciranjem iste u nacrt do konture zamišljenog stošca (točka 2_0 u nacrtu), a odavde lijevo do točke 2_2 i desno do točke 2_3 . Ostale točke presječne krivulje u nacrtu određuju se pomoću prikladno odabrane presječne ravnine A-A. Presjek ovom ravninom je kružnica k , polumjera određenog na konturi stošca u nacrtu. Presječna točka 3_1 (kružnice k_1 i konture odreza) projicirana u trag ravnine A-A daje točku krivulje presjeka 3_2 . Najviša točka krivulje presjeka u bokocrtu 4_3 određena je točkom 4_2 u nacrtu. Najniža točka ove krivulje 2_3 leži na istoj visini kao i točka 2_2 . Ostale točke određuju se pomoću prikladno odabrane presječne ravnine B-B. Presjek rotacijskog tijela je kružnica k_2 s polumjerom određenim točkom na konturi stošca u nacrtu. Ova kružnica određuje točku 5_1 na konturi odreza. Prenošenjem udaljenosti a u bokocrt, u ravnini B-B određuje se točka 5_3 .



Slika 6.140. Prijelaz kružnog u pravokutni presjek pomoću konične plohe

Prijelaz iz kružnog presjeka u pravokutni pomoću konične plohe, odrezane kosim ravninama (slika 6.140.), rjeđe je u uporabi jer je obrada mnogo teža, a nema veću prednost u odnosu na prijelaz prema slici 6.139. Tijelo je obrađeno na tokarskom stroju po konturi 1_2 - 2_2 - 3_0 , a u koničnom dijelu odrezano je ravninama, što je dovelo do pojave krivulja presjeka p_1 i p_2 (hiperbola).

Točka 3_0 zadana je pravokutnim presjekom tijela. Ravnina A-A siječe stožac u najvećoj kružnici, a kružni luk kroz 3_0 (u tlocrtu) prolazi kroz točku 3_1 pravokutnog presjeka ($3_1 \equiv 7_1$). To su ujedno i najniže točke krivulja presjeka p_1 i p_2 . Najviše

točke 4_2 (u nacrtu) i 5_3 (u bokocrtu) jesu točke na mjestu odvajanja ravnina odreza od konture tijela.

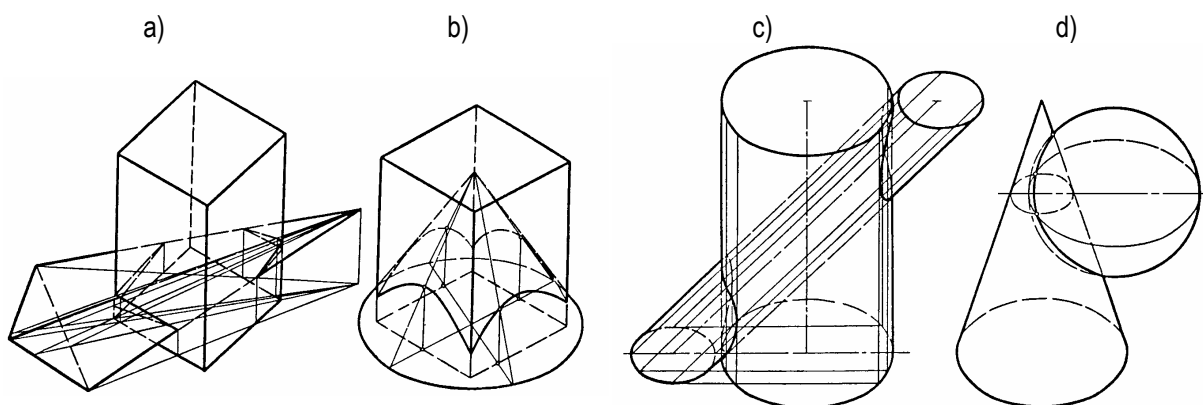
Ravnina B-B siječe stožac u kružnici k_1 polumjera jednakog udaljenosti od središnjice do konture u nacrtu. Presjek ove ravnine s ravninom odreza određuje točku 6_2 krivulje p_1 . Ova točka projicirana u tlocrt na kružnicu k_1 daje točku 6_1 . Prijenosom udaljenosti m u bokocrt određuje se točka 6_3 krivulje p_2 .

Ravnina C-C siječe stožac u kružnici k_2 i određuje točku 9_3 u bokocrtu. Prijenosom udaljenosti n iz bokocрта u tlocrt na kružnicu k_2 , a odavde u nacrt na ravninu C-C odredit će se točka 9_1 i 9_2 krivulje presjeka p_2 .

Ravnina B-B određuje i točku 8_1 (8_2 , 8_3) krivulje presjeka p_2 , a ravnina C-C točku 7_1 (7_2 , 7_3) krivulje presjeka p_1 . Presjeci B-B i C-C, nacrtani kao zakrenuti tlocrti, omogućavaju da se uoči i to da je između točaka 6_0 i 8_0 , odnosno 7_0 i 9_0 kružnica.

6.8.2. Prodori

U slučaju da jedno tijelo ulazi u drugo tijelo tako da je dio prostora zajednički za oba tijela, može se govoriti o tome da jedno tijelo prodire u drugo. Poligon ili krivulja na plohama tijela, koja je zajednička za oba tijela, zove se **prodor**. Kod potpunog prodora, kada jedno tijelo ulazi u drugo na jednoj strani, a izlazi na drugoj, postoje dvije prodorne krivulje¹⁷ (ili poligona). Ako postoji samo jedna prodorna krivulja, znači da jedno tijelo ulazi u drugo samo djelomično, pa se u tom slučaju radi o **zaduru**. Prodori uglatih tijela određuju se tako da se nađu probodišta svih bridova jednog tijela sa stranicama drugog tijela i obrnuto. To se izvodi postavljanjem pomoćnih ravnina (slika 6.141.a).

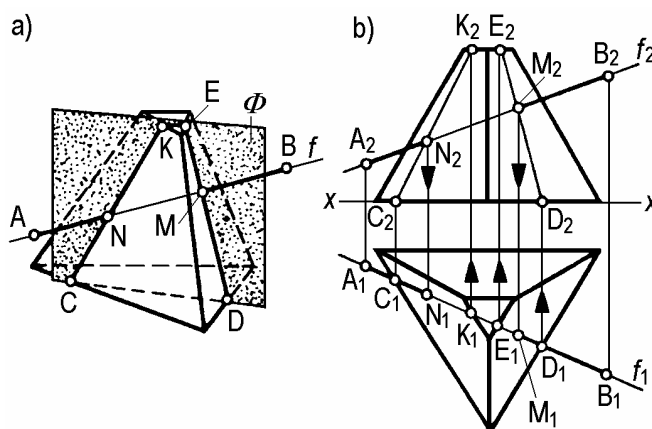


Slika 6.141. Prodor uglatih tijela (a), prodor uglatog i oblog tijela (b), prodor oblih tijela (c) te prodor stošca i kugle (d) [6]

¹⁷ U općem slučaju to će biti prostorna krivulja, tj. skup točaka neprekinuto povezanih po nekom pravilu, koje ne leže u istoj ravnini. Ona može biti dvodijelna ili jednodijelna, što ovisi o međusobnom položaju tih tijela [24].

Spojena probodišta predstavljaju međusobne presjeke stranica. Ako u prodoru sudjeluju plohe drugog reda, tada su prodorne krivulje kod prodora obliha¹⁸ i uglatih tijela dijelovi krivulja drugog reda, a određuju se probodištem odgovarajućih izvodnica rotacijskog tijela sa stranicama uglatih tijela (slika 6.141.b). Ako u prodoru sudjeluju plohe drugog reda, tada su prodorne krivulje kod prodora obliha tijela prostorne krivulje četvrtog reda, a određuju se različitim metodama (npr. metodom rješavanja pomoću ravnina, metodom rješavanja pomoću koncentričnih kugli, metodom rješavanja pomoću "kliznih kugli" [24]). Paralelno s izvodnicama jednog i drugog tijela polažu se pomoćne ravnine koje sijeku svaku rotacijsku plohu u dvije izvodnice, koje se sijeku u četiri točke prodora (slika 6.141.c). Pri prodoru oblog tijela s kuglom, krivulja prodora određuje se u presjeku izvodnice oblog tijela s kružnim presjekom kugle, ili u sjecištu kružnih presjeka oba tijela (slika 6.141.d).

Kod svakog prodora najprije je potrebno odrediti karakteristične točke tj. presječne crte njihovih ploha, a zatim po potrebi i sve ostale. Točno proučavanje prodora predmet je nacrtne geometrije [6, 7, 24]. Za odrediti prodor dvaju tijela treba prethodno svladati postupak određivanja točaka prodora pravca s ploham različitih geometrijskih tijela.



Slika 6.142. Prodor krnje piramide pravcem

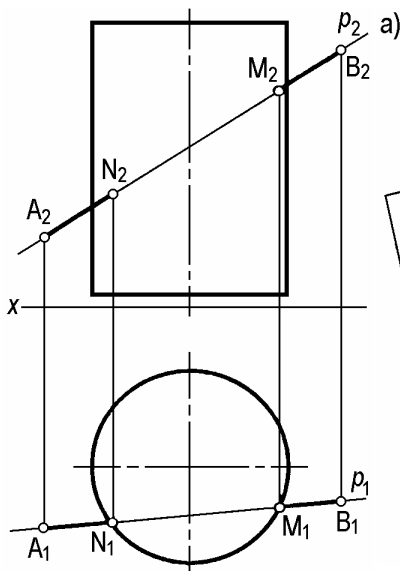
Na slici 6.142.a prikazan je prodor krnje piramide pravcem f . Pravcem je povučena pomoćna ravnina Φ (koja je okomita na prvu ravninu projekcija I_1 te se projicira u prvom tragu f_1). Nakon toga traži se presjek pomoćne ravnine s ploham zadanog geometrijskog tijela (izvodnice KC i ED). Na mjestu presjeka dobivenih izvodnica sa zadanim pravcem nalaze se tražene točke prodora N i M .

U ovoj točki (slično kao i u točki 6.8.1. ovog udžbenika) projekcije točaka u prvoj ravnini projekcija (I_1) imat će indeks 1, u drugoj (I_2) indeks 2, a u trećoj (I_3) indeks 3. Projekcije u prvoj ravnini projekcija su tlocrti, u drugoj nacrti, a u trećoj bokocrti.

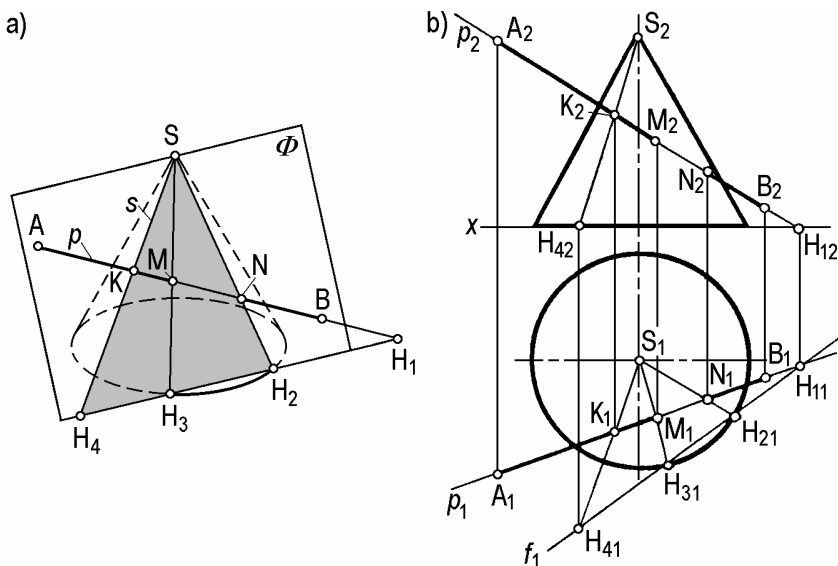
¹⁸ Najčešće rotacijska tijela.

Određivanje točka prodora u crtežu (slika 6.142.b) provodi se na sljedeći način. Tlocrti izvodnica \overline{KC} i \overline{ED} poklapaju se s tragom pomoćne ravnine f_1 . Nacrti K_2 , C_2 , E_2 i D_2 određuju se pomoću ordinala iz točaka K_1 , C_1 , E_1 i D_1 do presjeka s nacrtom osnovice krnje piramide. Na presjeku spojnica točaka K_2 i C_2 , odnosno E_2 i D_2 , s nacrtom zadanog pravca dobivaju se nacrti N_2 i M_2 , traženog prodora. Ako se iz njih postave ordinale do presjeka s tragom pomoćne ravnine f_1 , dobit će se tlocrti N_1 i M_1 točaka prodora.

Ponekad se prodor može odrediti i bez postavljanja pomoćne ravnine, kao što je to slučaj određivanja točaka prodora rotacijskog valjka pravcem p na slici 6.143. S obzirom na to da je u ovom slučaju tlocrt valjkaste plohe kružnica, tlocrti svih točaka koje se nalaze na valjkastoj plohi, uključujući i točke prodora, nalazit će se na toj kružnici (slika 6.143.). Nacrti N_2 i M_2 , traženih točaka prodora, određuju se pomoću ordinala kroz točke N_1 i M_1 do presjeka s nacrtom pravca p .



Slika 6.143. Prodor rotacijskog valjka pravcem



Slika 6.144. Prodor rotacijskog stošca pravcem

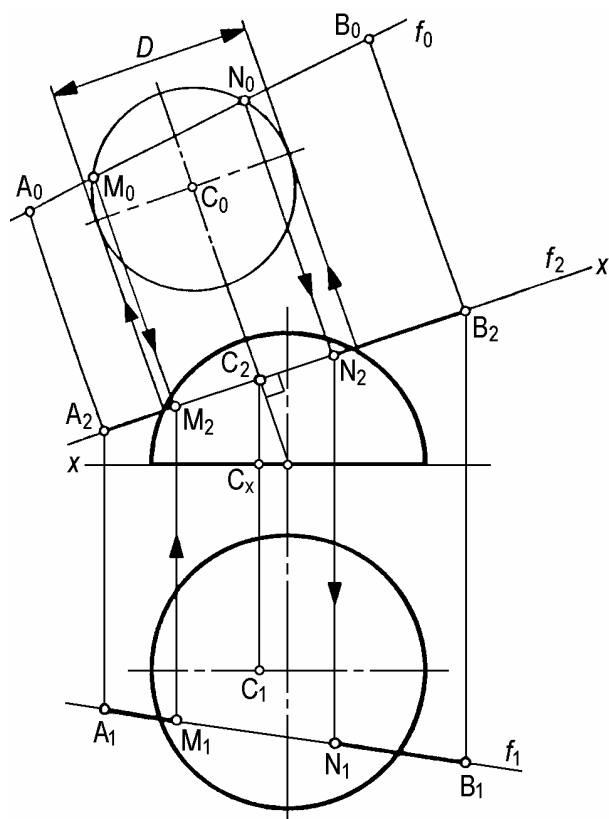
Postupak određivanja točaka prodora rotacijskog stošca pravcem p prikazan je na slici 6.144.b. Zanim pravcem p postavlja se pomoćna ravnina Φ , koja prolazi kroz vrh stošca S i presijeca ga po izvodnicama $\overline{SH_2}$ i $\overline{SH_3}$ (slika 6.144.a). Pomoćna ravnina ne mora biti projicirajuća (ravnina okomita na jednu od ravnina projekcija). Na crtežu (slika 6.144.b) je ta ravnina određena na sljedeći način. Proizvoljna točka K na pravcu spaja se pomoćnim pravcem s vrhom stošca S (slika 6.144.a). Zadani pravac p i pomoćni pravac s sijeku se u toči K i određuju ravninu Φ .

Probodišta H_1 i H_4 ovih dvaju pravaca s prvom ravinom projekcija određena su iz nacrt. Nacrti tih probodišta su gdje nacrt pravca siječe os x , a tlocrti su na pripadnom pravcu i ordinali. Kroz probodišta H_1 i H_4 prolazi prvi trag f_1 ravnine Φ .

Tlocrt stožaste plohe stošca je krug koji se podudara s tlocrtom osnovice stošca. Na crtežu (slika 6.144.b) tlocrt osnovice stošca presijeca trag f_1 u točkama H_{21} i H_{31} . Spajanjem tih točaka s projekcijom vrha S_1 dobiju se projekcije izvodnica $\overline{SH_2}$ i $\overline{SH_3}$ po kojima ravnina Φ presijeca stožastu plohu.

U presjeku određenih izvodnica i zadanog pravca p nalaze se tražene točke prodora M i N stožaste plohe stošca pravcem p .

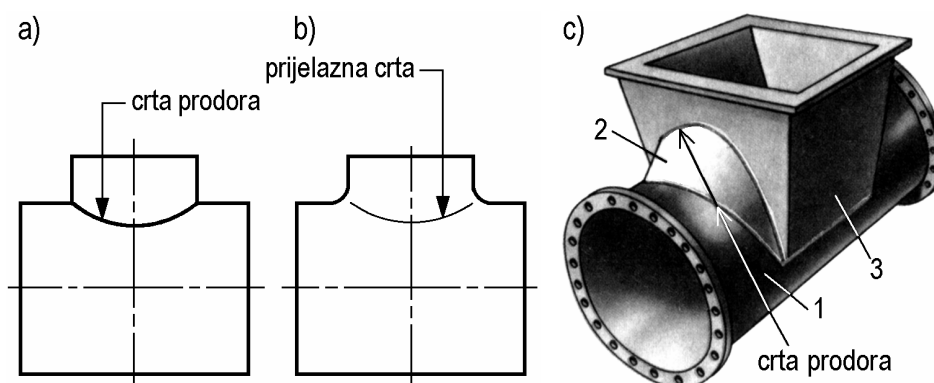
Tlocrti točaka prodora M_1 i N_1 nalaze se u presjeku tlocrta izvodnica S_1H_{31} i S_1H_{21} s tlocrtom pravca p_1 . Odinale kroz točke M_1 i N_1 do presjeka s nacrtom pravca p_2 određuju nacрте M_2 i N_2 točaka prodora.



Slika 6.145. Prodor sfere pravcem

Točke prodora plohe sfere pravcem (slika 6.145.) određuju se tako da se pravcem postavi pomoćna ravnina projekcija Φ . Ova ravnina presijeca sferičnu plohu u kružnici, koja se projicira u prvoj ravnini projekcija kao elipsa, što znatno usložnjava konstrukciju prodora. Zato se u ovom slučaju odabere ravnina projekcija okomita na drugu ravninu projekcija s kojom je pomoćna ravnina Φ paralelna (stranocrt). Naredna os x' paralelna je s nacrtom zadanog pravca (zbog pojednostavnjenja na slici 6.144. os x' podudara se s projekcijom pravca f_2). Nakon toga potrebno je odrediti stranocrt $\overline{A_0B_0}$ dijela pravca \overline{AB} i tlocrt kružnice promjera $D = \overline{C_2C_0} = \overline{C_1C_x}$, koja predstavlja presjek sfere pomoćnom ravninom Φ . U presjeku stranocrta pravca i kružnice nalaze se točke probodišta M_0 i N_0 .

Obrnutim postupkom (vidi smjer strelica) određuju se nacrti M_2 i N_2 odnosno tlocrti M_1 i N_1 točaka prodora sfere pravcem.



Slika 6.146. Crta prodora (a) i prijelazna crta (b)

Na tehničkim crtežima crta prodora (slika 6.146.a) prikazuje se kao neprekidna široka crta 01.2 (vidi tablicu 7.10.). Na mjestu susretanja ploha lijevanih ili duboko izvlačenih dijelova nema jasne crte prodora. Zamišljena crta prodora naziva se prijelazna crta i dogovorno se prikazuje na tehničkim crtežima neprekidnom uskom crtom 01.1 (vidi tablicu 7.10.). Ova crta ne počinje i ne završava u točkama presjeka produljenih kontura ploha koje se međusobno sijeku (prodire) (slika 6.146.b).

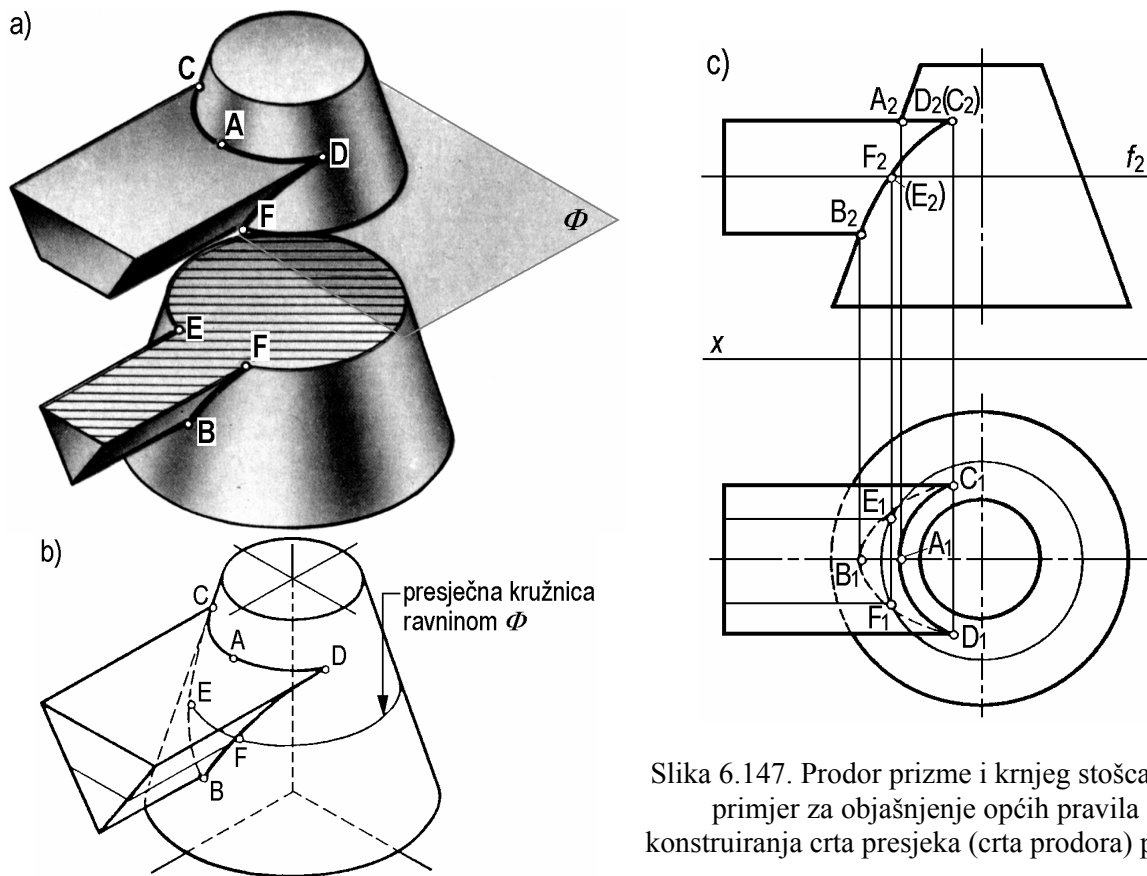
Konstruiranje crta prodora ili prijelaza zahtijeva točnost, npr. kod izrade crteža cjevovoda, ventilacijskih postrojenja, rezervoara (spremnika), kućišta strojeva, alatnih strojeva i drugih uređaja. Praktičan primjer prikaza crta prodora dan je na slici 6.146.c.

Za konstruiranje crta prodora i prijelaza u tehničkom crtanju u strojarstvu treba se koristiti približnim i jednostavnijim metodama. Radi pojednostavnjenja, gdje god je to moguće, preporuča se nadomještanje prodora odoka kružnim lukovima ili pak njihovo potpuno izostavljanje kao da i ne postoje.

Jedna od metoda konstruiranja crte prodora tijela svodi se na postavljanje pomoćnih presječnih ravnina i pronalaženje međutočaka točaka prodora zadanih ploha tijela (npr. točke E i F na slici 6.147.a). Konstruiranje crte prodora tijela počinje pronalaženjem očiglednih točaka. Npr. na slici 6.147.b, na kojoj je prikazan prodor prizme s krnjim stošcem, takve točke su točke A i B. Zatim se određuju karakteristične točke C i D, koje se nalaze na bridovima gornje vodoravne pobočke prizme (na slici 6.147.b). U karakteristične točke spadaju i krajnje točke crte prodora: iznad, ispod, desno, lijevo i tome slično. U danom primjeru takve su točke D (krajnja desna točka), B (lijeva točka), A, C, D (točke iznad) i B (točka ispod) itd. Sve ostale točke crte prodora zovu se međutočke (npr. točke E i F).

Uobičajeno je da se pri konstruiranju crta prodora ploha (npr. valjkastih, stožastih i slično) koriste paralelne pomoćne presječne ravnine. Kao pomoćne ravnine uzimaju se one koje presijecaju obje zadane plohe tijela po jednostavnim crtama - pravcima ili kružnicama, pri čemu se kružnice nalaze u ravninama

paralelnim ravninama projekcija. U svim slučajevima prije konstruiranja crte prodora na crtežu potrebno je imati predodžbu te crte u prostoru.



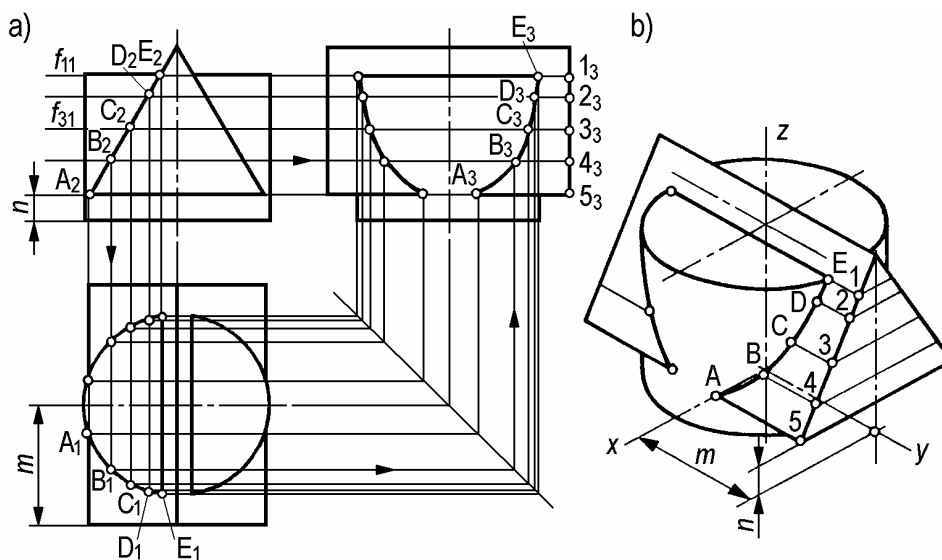
Slika 6.147. Prodor prizme i krnjeg stošca kao primjer za objašnjenje općih pravila konstruiranja crta presjeka (crta prodora) ploha

Na slici 6.148. prikazana je konstrukcija crte prodora uspravne trostrane prizme okomite na drugu ravninu projekcija (Π_2) i rotacijskog valjka (slika 6.148.a). Druga projekcija crte prodora poklapa se s drugom projekcijom osnovice prizme - jednakostraničnim trokutom. Prva projekcija crte prodora poklapa se s prvom projekcijom osnovice valjka - kružnicom. Projekcije točaka A i E određuju se pomoću ordinala. Za određivanje projekcija međutočaka B, C i D rabe se pomoćne presječne ravnine Φ_1 , Φ_2 i Φ_3 koje određuju nacрте B_2 , C_2 i D_2 ovih točaka.

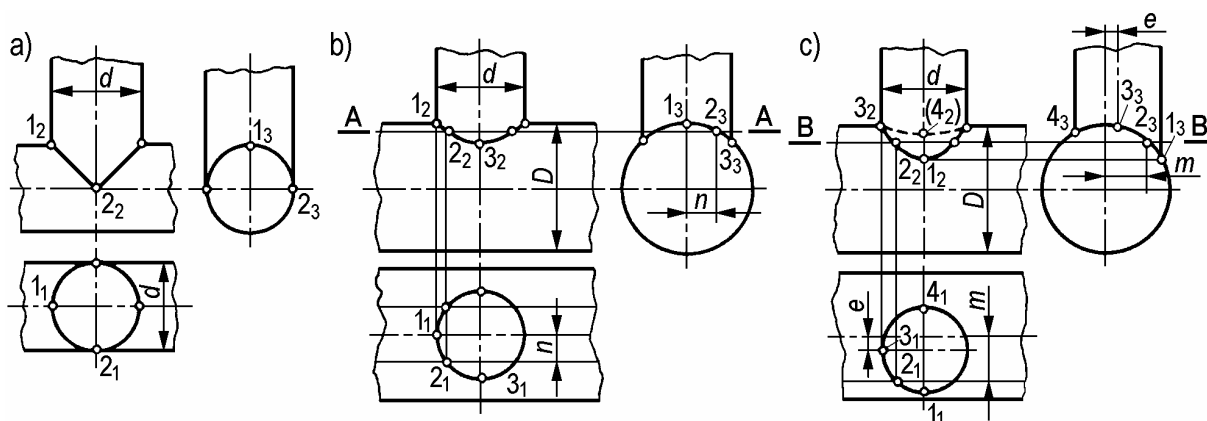
Spuštanjem ordinala u tlocrt određuju se tlocrti B_1 , C_1 i D_1 točaka B, C i D. Pomoću ordinala (vidi strelice) određuju se i bokocrti B_3 , C_3 i D_3 ovih točaka.

Na slici 6.148.b dana je izometrijska projekcija tijela. Nakon konstrukcije izometrijske projekcije valjka, rabeći izmjere m i n (slika 6.148.a), konstruira se izometrijska projekcija osnovice prizme, na kojoj se nalaze točke 1, 2, 3, 4 i 5. Od ovih točaka odmjeravaju se udaljenosti $\overline{1_3E_3}$, $\overline{2_3D_3}$, $\overline{3_3C_3}$, $\overline{4_3B_3}$ i $\overline{5_3A_3}$ iz bokocрта. Na taj se način dobivaju točke A, B, C, D i E.

U izometrijskoj projekciji crta prodora prizme i valjka dobiva se spajanjem točaka A, B, C, D i E.



Slika 6.148. Prodor prizme i rotacijskog valjka



Slika 6.149. Prodor dvaju rotacijskih valjaka s okomitim osima rotacije

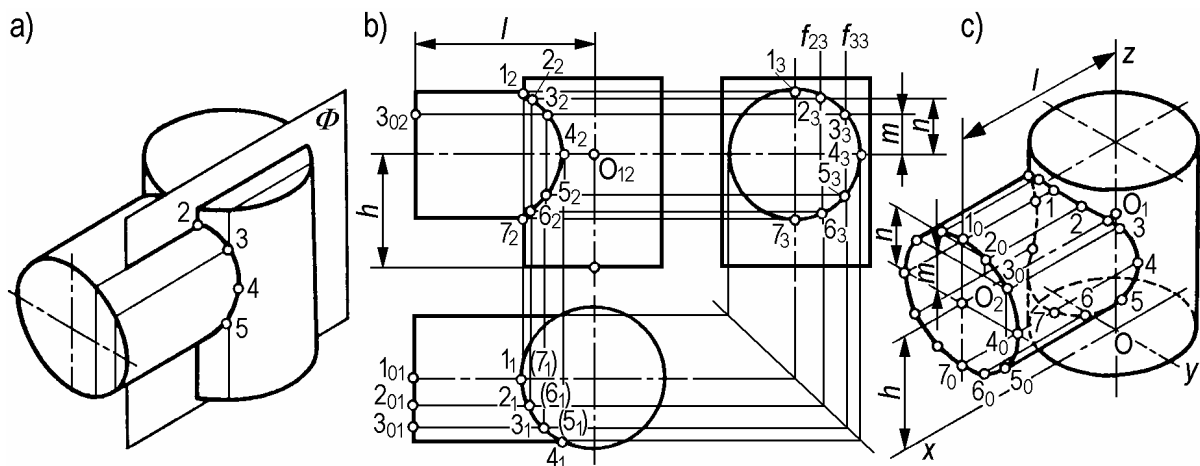
Pri izradi tehničkih crteža u strojarstvu najčešće se susreću slučajevi prodora dva rotacijska valjka čije osi rotacije tvore kut od 90° . Na slici 6.149. dan je prikaz tri slučaja prodora takvih rotacijskih valjaka. Slika 6.149.a prikazuje prodor valjaka jednakih promjera d s osima rotacije koje se međusobno sijeku, slika 6.149.b prikazuje prodor valjaka različitih promjera ($D > d$) s osima rotacije koje se međusobno sijeku, a slika 6.149.c prikazuje prodor valjaka različitih promjera ($D > d$) s osima rotacije koje su mimosmjerne.

U prvom slučaju (slika 6.149.a) crte prodora su dvije poluelipse koje se projiciraju kao dužine u nacrtu, u tlocrtu prodor se poklapa s tlocrtom osnovice rotacijskog valjka (kružnica), a u bokocrtu prodor se poklapa s gornjom polovinom bokocрта osnovice vodoravnog valjka (polukružnica).

U drugom slučaju (slika 6.149.b) projekcije najniže točke 3 i najviše točke 1 određuju se iz bokocрта. Proizvoljna presječna ravnina A-A siječe vodoravni rotacijski valjak u pravokutniku širine $2n$, a uspravni rotacijski valjak u kružnici. Prenošenjem udaljenosti n u tlocrt iz bokocрта određuje se pravokutnik koji definira

točku 2_1 u prvoj projekciji crte prodora. Projiciranjem ove točke u nacrt na trag presječne ravnine A-A dobiva se točka 2_2 . Ovakav se prodor u praksi zamjenjuje s kružnim lukom koji ima središte zakrivljenja na osi rotacije valjka, a prolazi kroz karakteristične točke 1_2 i 3_2 .

U trećem slučaju (slika 6.149.c) točke 3_2 i 1_2 u nacrtu određuju se iz bokocрта. Ostale točke određuju se pomoću proizvoljne presječne ravnine B-B koja siječe vodoravni rotacijski valjak u pravokutniku poluširine m . Prenošenjem udaljenosti m u tlocrt iz bokocрта određuje se, istim postupkom kao u slučaju na slici 6.149.b, projekcija točaka u tlocrtu i nacrtu (2_1 i 2_2). U praksi se i kod ovog slučaja, nakon određivanja karakterističnih točaka, crta prodora može zamijeniti lukovima.



Slika 6.150. Prodor dva rotacijska valjka

Kao na slici 6.149.b i na slici 6.150.a prikazan je prodor dva valjka čije su osi rotacije međusobno okomite i paralelne s drugom ravninom projekcija.

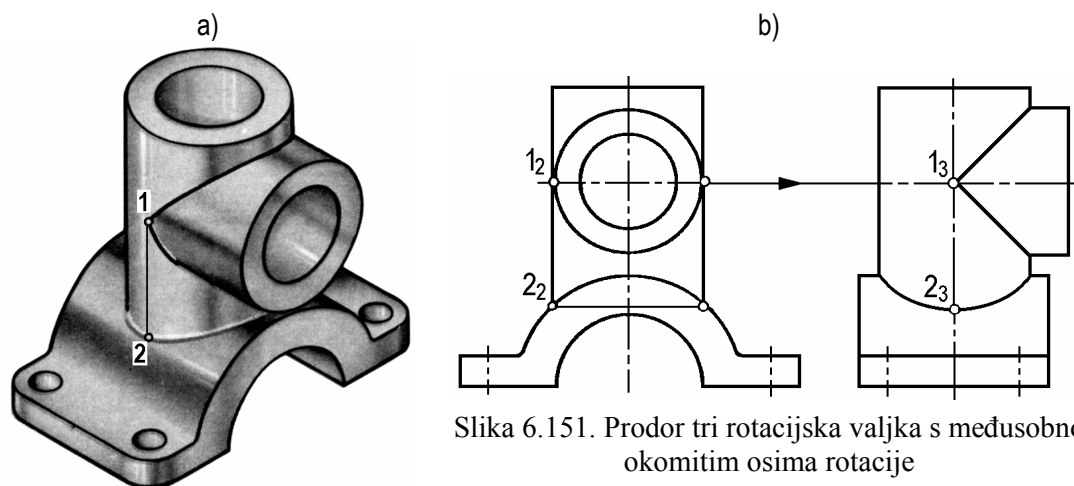
Konstruiranje crte prodora počinje određivanjem projekcija očiglednih točaka 1 i 7 te karakteristične točke 4. Određivanje međutočaka prikazano je na slici 6.150.b. Ako se u danom primjeru primijeni način konstruiranja crte prodora pomoću pomoćnih međusobno paralelnih presječnih ravnina, koje presijecaju oba valjka po izvodnicama, tada se na mjestima presjeka tih izvodnica nalaze tražene međutočke crte prodora (npr. točke 2, 3 i 5 na slici 6.150.a).

Tlocrt tražene crte prodora valjaka poklapa se s tlocrtom osnovice većeg rotacijskog valjka, dakle s kružnicom. Bokocrt crte prodora poklapa se s bokocrtom osnovice manjeg (vodoravnog) valjka, koja je također kružnica. Koristeći se ovime, lako je odrediti i nacrt tražene crte prodora, i to na osnovi općeg pravila konstruiranja krivulje kroz točke, za koje su poznate dvije projekcije. Npr. na osnovi tlocrta točke 3_1 (slika 6.150.b) određuje se bokocrt 3_3 . Na osnovi ovih dviju projekcija (3_1 i 3_3) određuje se nacrt 3_2 točke 3, koja pripada crti prodora valjaka.

Konstruiranje izometrijske projekcije počinje s konstrukcijom izometrije rotacijskog valjka. Zatim se kroz točku O_1 paralelno s osi x povlači os rotacije vodoravnog valjka. Položaj točke O_1 određen je visinom h uzetom iz ortogonalne

projekcije (slika 6.150.b). Odmjeravanjem duljine l od točke O_1 po osi rotacije vodoravnog valjka dobiva se točka O_2 (središte osnovice vodoravnog valjka) (slika 6.150.c).

Pojedine točke na crti prodora određuju se na način prikazan na slici 6.150.c. Točke 3 i 2 određuju se tako da se od središta O_2 prema gore po pravcu, koji je paralelan osi z , odmijere duljine m i n uzete iz ortogonalne projekcije (slika 6.150.b). Kroz završetke tih duljina povlače se pravci paralelni osi y , do presjeka s elipsom ili ovalom (osnovicom vodoravnog valjka u izometriji) u točkama 3_0 i 2_0 . Zatim se iz točke 3_0 i 2_0 povlače pravci paralelni osi x , na koje se nanose duljine jednake udaljenosti od osnovice vodoravnog valjka do crte prodora u bokocrtu ili tlocrtu. Krajnje točke ovih duljina pripadaju crti prodora. Kroz ove točke povlače se pomoću krivuljara krivulja, vodeći računa o njezinim vidljivim i nevidljivim dijelovima.



Slika 6.151. Prodor tri rotacijska valjka s međusobno okomitim osima rotacije

Nacrt crte prodora dva rotacijska valjka jednakih promjera čine dva pravca koja se sijeku (vidi sliku 6.149.a). Dakle, ovi su pravci druge projekcije ravninskih krivulja (elipsi) (slika 6.151.). Na slici 6.151.a prikazan je slučaj prodora tri rotacijska valjka s međusobno okomitim osima rotacije. Jedan valjak ima uspravnu os rotacije, a druga dva vodoravne osi rotacije.

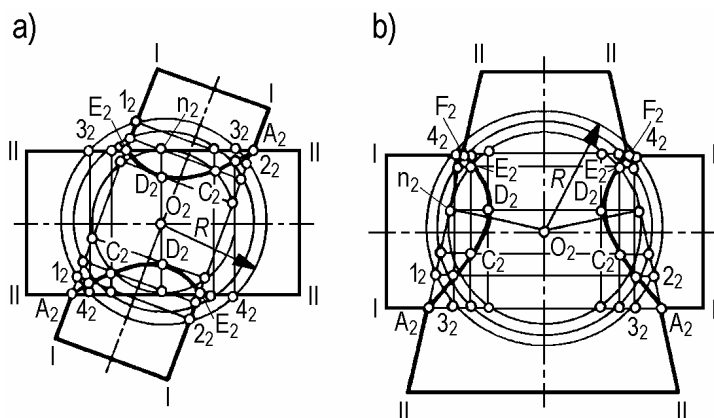
U usporedbi s izloženom metodom pomoćnih presječnih ravnina, metoda pomoćnih koncentričnih sfera (kugli) ima prednost u tome što se npr. nacrt crte prodora ploha tijela konstruira bez uporabe pridruženih projekcija (vidi prikaz na slici 6.152.).

Pomoćne koncentrične kugle moguće je koristiti za konstrukciju crte prodora samo uz sljedeće uvjete :

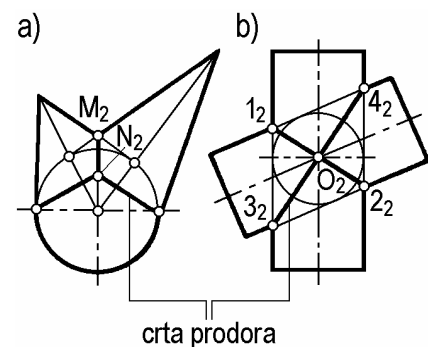
- 1) prodiru se rotacijska tijela;
- 2) osi rotacije tijela se sijeku, a točka presjeka predstavlja središte pomoćnih kugli, i
- 3) ravnina koju određuju osi rotacije tijela mora biti paralelna jednoj od ravnina projekcija.

Na slici 6.152.a prikazana je konstrukcija nacrt crte prodora dvaju rotacijskih valjaka čije se osi rotacije sijeku pod ostrim kutom.

Pomoćne koncentrične kugle opisuju se iz središta O_2 (točka presjeka osi rotacije valjaka) - u nacrtu to su kružnice opisane iz ovog središta. Kružnica opisana iz O_2 , npr. ona polumjera R , presijeca vodoravni valjak po kružnici promjera $\overline{3_4}$, a kosi valjak po kružnici promjera $\overline{1_2}$. Na mjestu presjeka dobivenih projekcija kružnica ($\overline{3_2 4_2}$ i $\overline{1_2 2_2}$) nalaze se nacrti točaka crte prodora valjaka. Opisivanjem čitavog niza pomoćnih koncentričnih kugli (kružnica u nacrtu) odredit će se niz točaka tražene crte prodora.



Slika 6.152. Konstrukcija crta prodora metodom pomoćnih koncentričnih kugli



Slika 6.153. Slučaj prodora stožaca (a) i valjaka (b) koji tangiraju upisanu kuglu

Područje polumjera kugli definira se tako što kugla najvećeg polumjera mora sjeći konture izvodnica I-I i II-II valjaka (slika 6.152.a), odnosno valjka i krnjeg stošca (slika 6.152.b), a kugla najmanjeg polumjera mora tangirati jedno od tijela (npr. u točki n_2) i presijecati izvodnice drugog tijela (npr. izvodnice I-I).

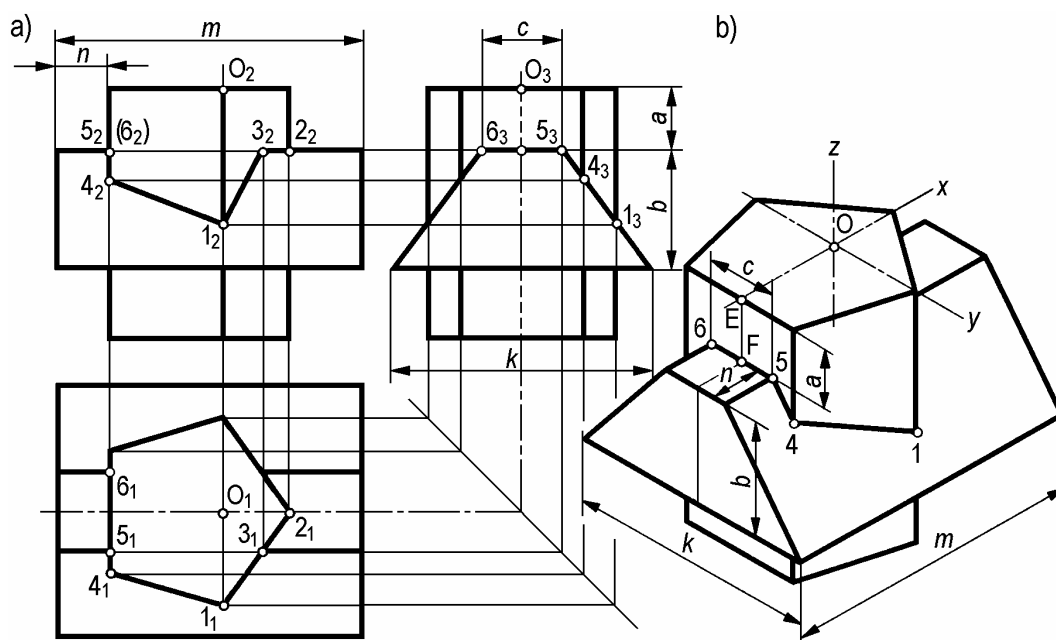
Ako se radi o dva stožca (slika 6.153.a) koji tangiraju istu kuglu u dvije kružnice, kružnice će se sjeći u dvije točke koje se projiciraju u nacrtu u točku N_2 . Ravnine u kojima leže ove kružnice sijeku se u pravcima čiji su drugi tragovi spojnice dirališta tangente stošca i kugle.

Spajanjem karakteristične točke M_2 (točka prodora kontura stožaca) s točkom N_2 dobiva se crta prodora stožaca, koja je nacrt elipse.

U slučaju dva valjaka čije se osi rotacije međusobno sijeku u točki O_2 , a u koje je upisana kugla sa središtem u O_2 (vidi sliku 6.153.b), druga projekcija kugle bit će kružnica koja tangira izvodnice oba valjaka. Crte prodora tih valjaka su elipse koje se u nacrtu projiciraju u dužine $\overline{1_2 2_2}$ i $\overline{3_2 4_2}$.

Na slici 6.154. prikazan je prodor dvije prizme s međusobno okomitim bridovima. U danom slučaju tlocrt i bokocrt crte prodora podudara se s tlocrtom peterokuta (osnovica jedne prizme), odnosno s bokocrtom dijela četverokuta (osnovica druge prizme). Nacrt crte prodora konstruira se spajanjem točaka prodora bridova jedne prizme sa stranicama druge. Ako se npr. uzme tlocrt i

bokocrt točke 1 (1_1 i 1_3), koja je točka prodora brida peterokute i stranice četverokute prizme (slika 6.154.a), pomoću ordinale se odredi nacrt točke 1 (1_2) koja se nalazi na crti prodora ove dvije prizme.



Slika 6.154. Prodor dvije prizme

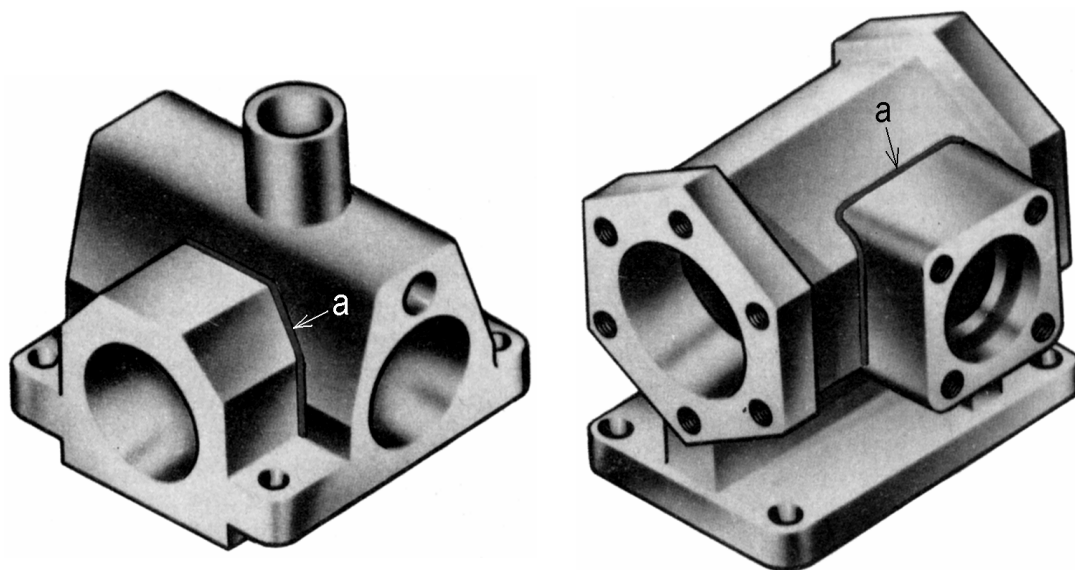
Izometrijska projekcija crte prodora dvije prizme može se konstruirati pomoću koordinata točaka ove crte (slika 6.154.b). Na primjer, izometrijska projekcija točaka 5 i 6, koje su simetrično smještene u odnosu na os x , odredi se na sljedeći način. Za ishodište je izabrana točka O , iz koje se odmjeri ulijevo na osi x duljina \overline{OE} , koja je jednaka dužini $\overline{O_1E_1}$ iz tlocrta (ili nacрта). Zatim se iz točke E prema dolje (paralelno s osi z) odmjeri duljina \overline{EF} , koja je jednaka drugoj koordinati a . Od točke F ulijevo i udesno (paralelno s osi y) odmijere se duljine $\overline{F6}$ i $\overline{F5}$, koje su jednake $c/2$ iz bokocрта.

Nakon toga se od točke F paralelno osi x odmjerava duljina jednaka n , uzeta iz nacрта. Prema dolje, paralelno osi z , odmjeri se duljina b , a paralelno s osi y duljina k . Rezultat je izometrijska projekcija osnovice četverostrane prizme.

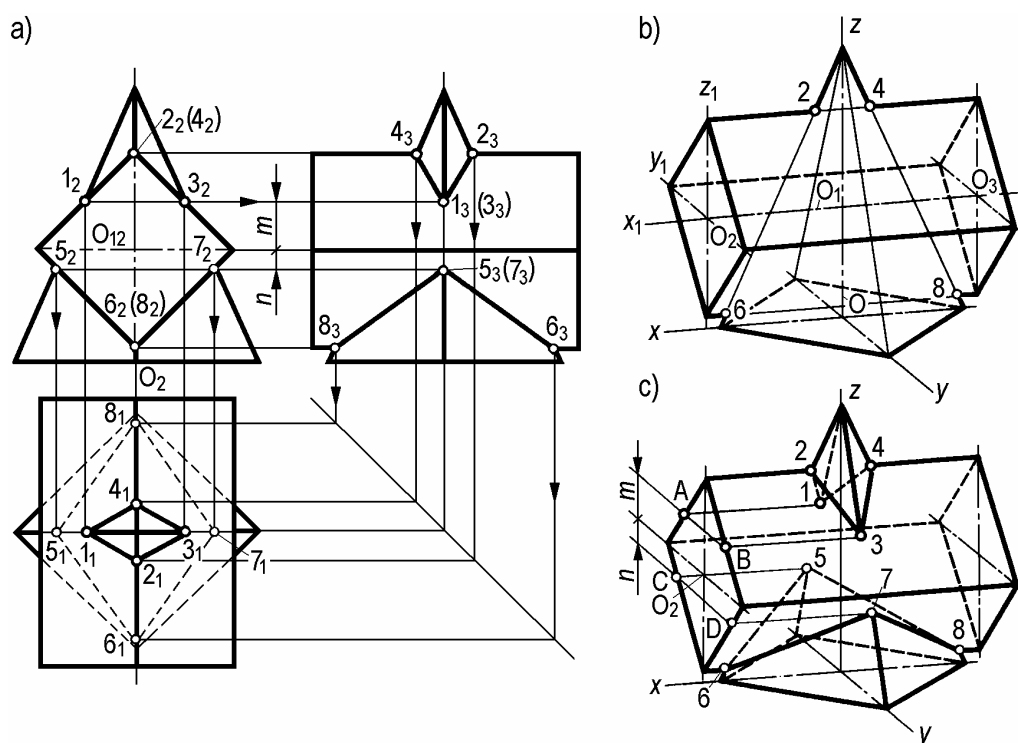
Točke 1 i 4 na bridovima peterostrane prizme mogu se odrediti uporabom samo jedne koordinate - koordinate z .

Primjeri kod kojih je potrebna opisana konstrukcija crte prodora prizmi prikazani su na slici 6.155.

Crta prodora četverostrane piramide s četverostranom prizmom prikazana je na slici 6.156.a. Projekcije točaka npr. 1 i 3 tražene crte prodora nalaze se na sljedeći način. Nacrti 1_2 i 3_2 određuju se neposredno u drugoj projekciji. Bokocrti 1_3 i 3_3 određuju se pomoću ordinala, povučenih kroz točke 1_2 i 3_2 do presjeka s bokocrtima odgovarajućih bridova piramide. Kada su određeni nacrti i bokocrti 1_2 i 1_3 , 3_2 i 3_3 , lako se određuju i tlocrti 1_1 i 3_1 .



Slika 6.155. Primjeri prodora dvije prizme (a - crta prodora prizmi)



Slika 6.156. Prodor piramide i prizme

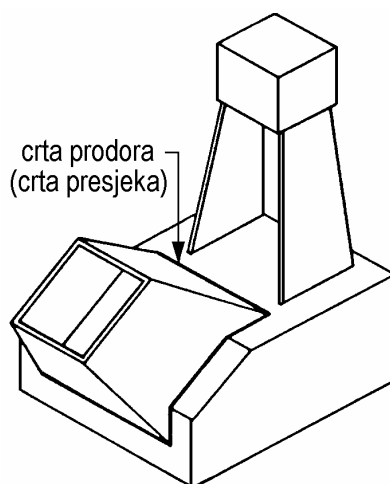
Projekcije točaka 2 i 4, koje se nalaze na mjestu presjeka brida prizme i piramide, određuju se na temelju upravo te činjenice.

Konstruiranje dimetrijske projekcije prodora piramide i prizme (slike 6.156.b i 6.156.c) počinje konstrukcijom piramide. Za konstrukciju prizme od točke O odmjeri se duljina $\overline{OO_1}$ uzeta iz nacрта. Kroz ovako dobivenu točku O_1 (slika 6.156.b) povući paralelno osi x os četverobride prizme, a na njoj od točke O_1 odmjeriti udesno i ulijevo polovinu visine prizme. Kroz točke O_2 i O_3 povući

pravce paralelne osima y i z te po njima odmjeriti odgovarajuću polovinu i cijelu duljinu dijagonale četverokuta osnovice prizme. Spajanjem vrhova dužinama dobiva se dimetrija osnovice prizme.

Dimetrijske projekcije točaka 2, 4, 6 i 8 prodora bridova prizme i piramide određuju se bez dopunske konstrukcije (slika 6.156.c).

Dimetrijske projekcije točaka 1, 3, 5 i 7 prodora bridova piramide i stranica prizme određuju se pomoću koordinata na poznat način.



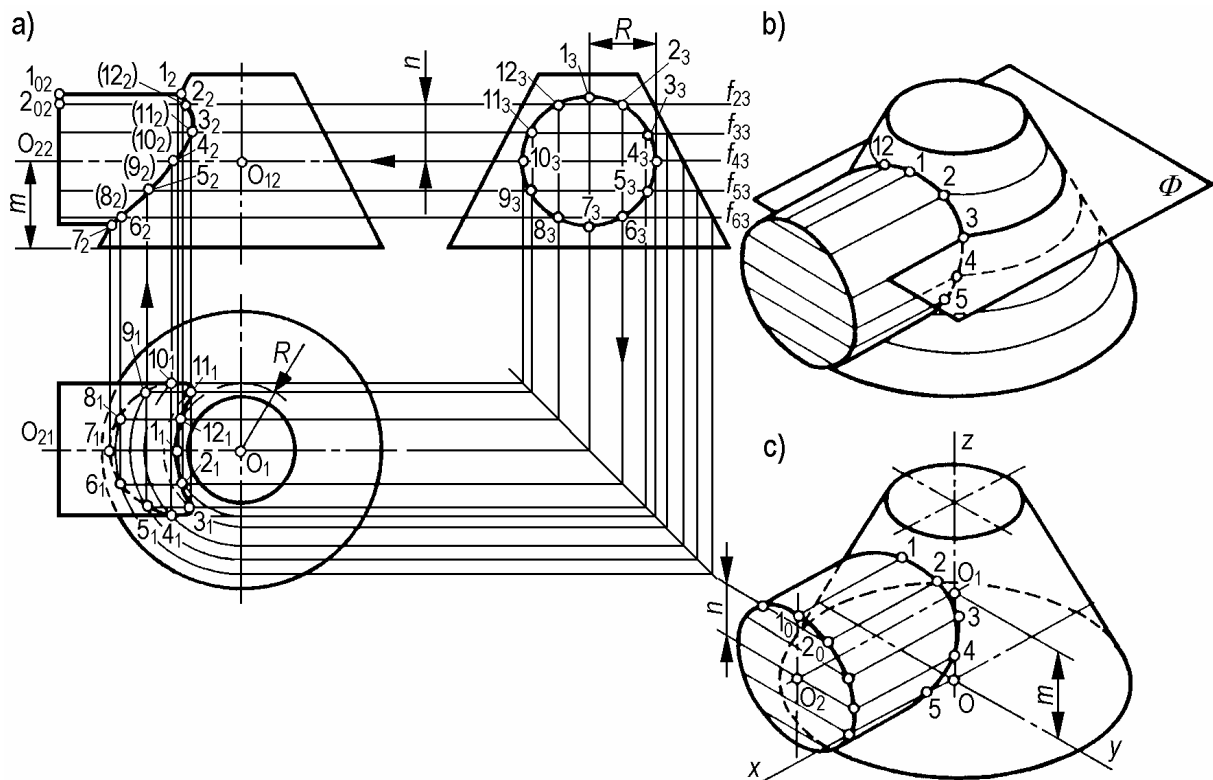
Slika 6.157. Primjer prodora piramide i prizme

U ovom primjeru dimetrijske projekcije točaka 1, 3, 5 i 7 mogu se odrediti i na drugi način. Od središta O_2 lijeve osnovice prizme odmjeriti prema gore i dolje po osi z duljine m i n , uzete iz ortogonalne projekcije. U krajnjim točkama dužina m i n povući pravce (paralelne osi y) do presjeka s konturom osnovice prizme u točkama A, B, C i D. Kroz ove točke povući pravce (paralelne osi x) do presjeka s bridovima piramide. Kao rezultat dobit će se tražene točke 1, 3, 5 i 7.

Na slici 6.157. prikazano je kućište nekog uređaja čiji donji dio ima oblik nepravilne peterostrane prizme. Prednji izbočeni dio ima oblik četverostrane prizme. Na slici je vidljiva crta prodora ili presjeka ploha ovih dvaju tijela.

Primjer konstruiranja crte prodora rotacijskog valjka i krnjeg rotacijskog stošca s međusobno okomitim osima rotacije prikazan je na slici 6.158. Osi rotacije valjka i stošca sijeku se u točki O_1 .

Kao i u prethodnim slučajevima, prvo se određuju projekcije očiglednih točaka 1 i 7, te karakterističnih 4 i 10 crte prodora (slike 6.158.b i 6.158.c). Za određivanje međutočaka potrebno je odabrati pomoćne (međusobno paralelne) presječne ravnine. Odaberu li se kao pomoćne ravnine druga i treća ravnina projekcija, iste će presijecati stožac po hiperbolama, a ne po jednostavnim crtama, kao što je to potrebno pri konstruiranju. Dakle, ove su ravnine nepovoljne. Ako se pak odaberu kao pomoćne ravnine vodoravne ravnine Φ (slika 6.158.b), one će presijecati stožac po kružnicama, a valjak po izvodnicama. Obje crte su jednostavne, a tražene točke prodora nalaze se na mjestima njihovih presjeka.



Slika 6.158. Prodor valjka i krnjeg stošca s međusobno okomitim osima rotacije

Za određivanje, na primjer, tlocrta točke 2 (slika 6.158.a) potrebno je iz središta tlocrta osnovice stošca O_1 povući tlocrt luka kružnice polumjera R , po kojoj pomoćna vodoravna ravnina Φ_1 presijeca stožac (vidi njezin trag f_{13} u bokocrtu).

Kako je poznat i bokocrt 2_3 točke 2, povući spojnu crtu do presjeka s kružnicom polumjera R i tako odrediti tlocrt 2_1 . Na osnovi ove dvije projekcije točke 2 jednostavno je odrediti i nacrt 2_2 . Na taj se način određuju i projekcije svih ostalih točaka.

Dio crte prodora u nacrtu bit će vidljiv, a dio nevidljiv. Granice ovih dijelova crte prodora određuju se pomoću pomoćne presječne ravnine Φ_3 , povučene kroz središte valjka (vidi njezin trag f_{33} u bokocrtu). Točke koje se nalaze iznad ove ravnine (vidi bokocrt) bit će vidljive, a one ispod nevidljive.

Za konstruiranje izometrijske projekcije prodora ovih dvaju tijela, prvo se konstruira izometrija krnjeg stošca (slika 6.158.c). Nakon toga se od središta O prema gore odmjerava duljina m i tako dobiva točka O_1 , kroz koju se povlači os valjka paralelno s osi x . Od točke O_1 po ovoj osi odmjerava se duljina O_1O_2 (točka O_2 je središte osnovice valjka - vidi tlocrt na slici 6.158.a) i tako dobiva točka O_2 , koja predstavlja središte elipse ili ovala (izometrijske projekcije osnovice valjka).

Za konstruiranje crte prodora potrebno je odrediti izometrijske projekcije točaka ove crte pomoću njezinih koordinata, uzetih iz ortogonalne projekcije.

U promatranom primjeru dovoljne su samo po dvije koordinate x i z svake tražene točke. Npr. za određivanje izometrije točke 2 (ili 12) uzima se kao

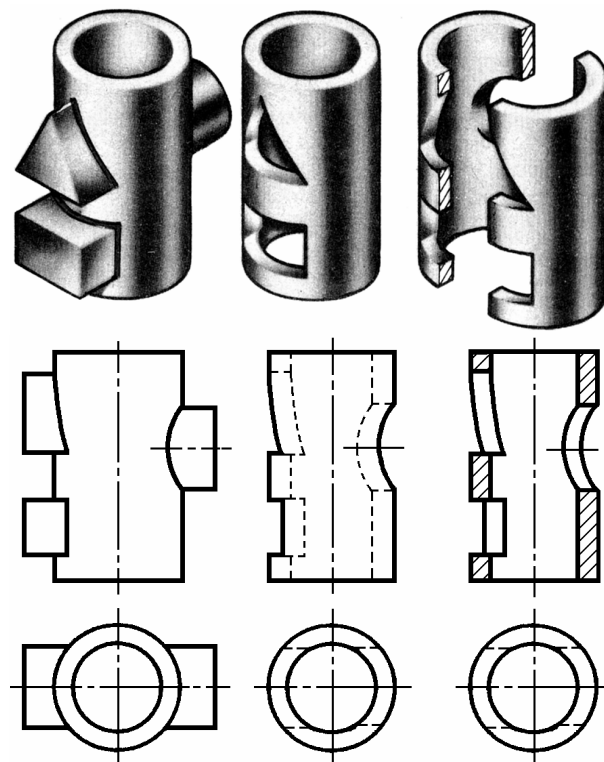
koordinatni početak točka O_2 (središte osnovice valjka). Paralelno s osi y povlače se tragovi presječne ravnine s koordinatom po osi z uzetom iz bokocрта. Iz dobivenih točaka $1_0, 2_0, \dots$ paralelno osi x povlače se pravci (izvodnice) valjka, na koje se nanose koordinate $\overline{1_0 1}, \overline{2_0 2}, \dots$, uzete iz nacrtu (slika 6.158.a) ($\overline{1_{02} 1_2}, \overline{2_{02} 1_2}, \dots$). Na taj se način dobiju točke od 1 do 12 tražene crte prodora.

Koordinata u smjeru osi z aksonometrijske projekcije uzima se iz nacrtu ili bokocrtu, a koordinate x iz nacrtu ili tlocrtu. Kroz ovako određene točke crta se krivuljarom kriva crta prodora.

Izometrijska projekcija crte prodora može se konstruirati i pomoću određivanja točaka prodora izometričnih projekcija izvodnica valjka i ovala, po kojima pomoćne vodoravne presječne ravnine presijecaju krnji stožac. Ovaj način konstruiranja prikazan je na slici 6.158.b. Kao što je to vidljivo iz slike, radi se o mnogo težem postupku zbog crtanja većeg broja ovala (ili elipsa) različitih dimenzija.

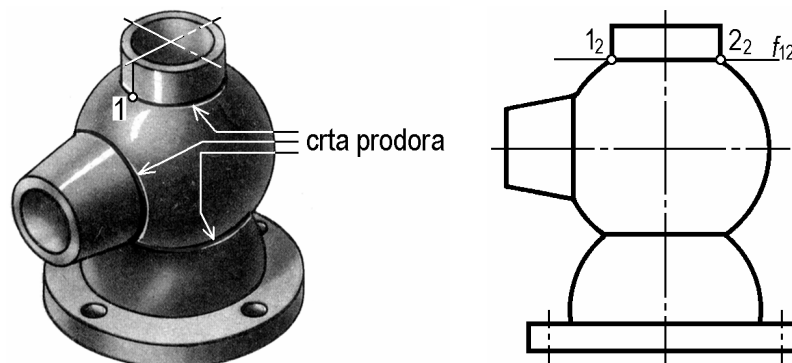
Na slici 6.159. prikazano je nekoliko primjera prodora rotacijskog valjka, trostrane i četverostrane prizme i šupljeg valjka.

Prodor uspravnog valjka i kugle (koja ima središte smješteno na osi rotacije valjka) jest kružnica, koja se u nacrtu projicira kao duljina $\overline{1_2 2_2}$ (slika 6.160.). Dakle, ako se kroz točke 1 i 2 postavi vodoravna pomoćna presječna ravnina Φ , primjećuje se da ravnina Φ presijeca valjak i kuglu po kružnici jednakog promjera.



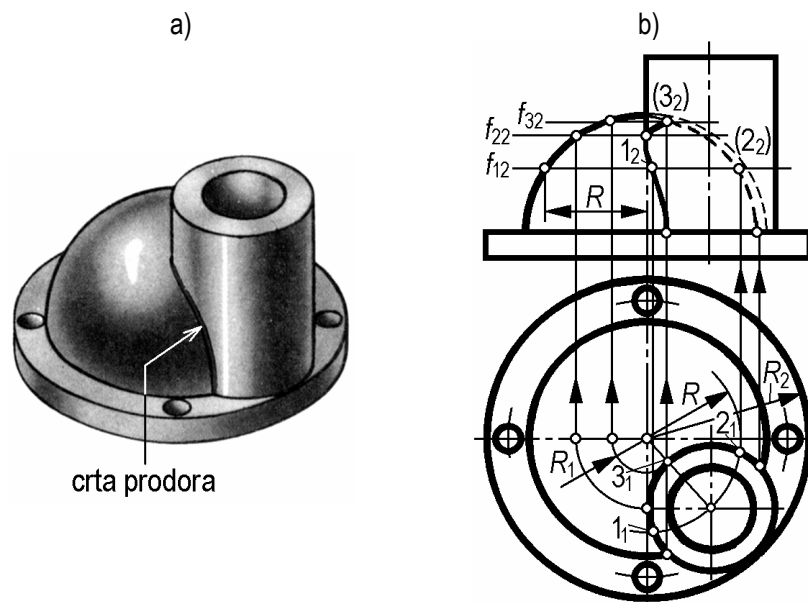
Slika 6.159. Prodori rotacijskog valjka, trostrane i četverostrane prizme i šupljeg valjka

Kod prodora stošca ili nekog drugog rotacijskog tijela i kugle, čije je središte na osi rotacije ovih tijela, crta prodora bit će također kružnica (slika 6.160.).



Slika 6.160. Primjer prodora različitih rotacijskih tijela kod kojih je crta prodora kružnica

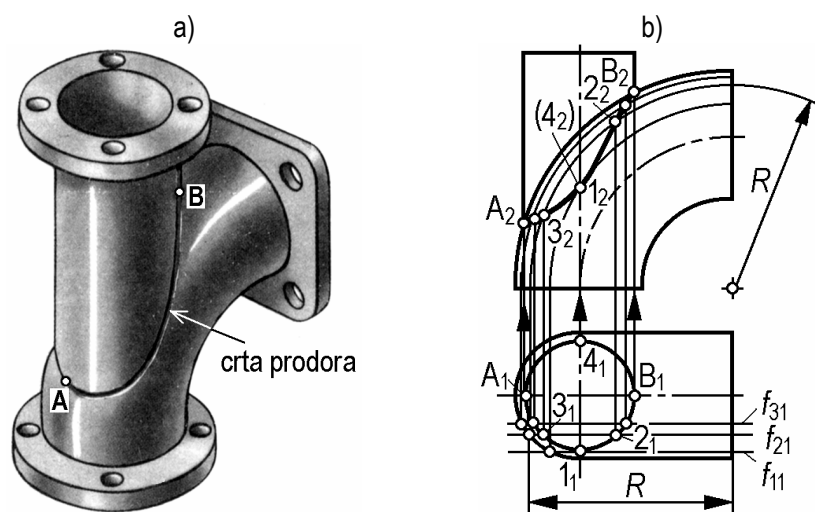
Ako je središte kugle nije smješteno na osi rotacije valjka (slika 6.161.a), za određivanje crte prodora potrebno je rabiti pomoćne vodoravne ravnine (slika 6.161.b). Npr. pomoćna vodoravna ravnina Φ presijeca valjak po kružnici polumjera R_2 , a kuglu po kružnici polumjera R . Točke presjeka 1_1 i 2_2 tlocrta ovih kružnica pripadaju tlocrtu crte prodora (ili crte presjeka valjkaste plohe i sfere). Nacrta 1_2 i 2_2 (projekcija 2_2 je zaklonjena pa je zato na slici 6.160.b stavljena u zagradu) dobiju se pomoću ordinala.



Slika 6.161. Prodor valjka i kugle čije središte nije na osi rotacije valjka

Jedna od karakterističnih točaka crte prodora je i vršna točka 3. Tlocrt ove točke nalazi se na presjeku pravca koji spaja središte kružnice polumjera R_2 i kružnice polumjera R sa središtem tlocrta osnovice valjka. Za određivanje nacrta točke 3 potrebno je opisati luk polumjera R_1 kroz točku 3_1 , a zatim naći nacrt luka

(odrezak pravca paralelnog osi x) i pomoću ordinala odrediti točku 3_2 (koja je zaklonjena pa je zato na slici 6.161.b stavljena u zagradu).

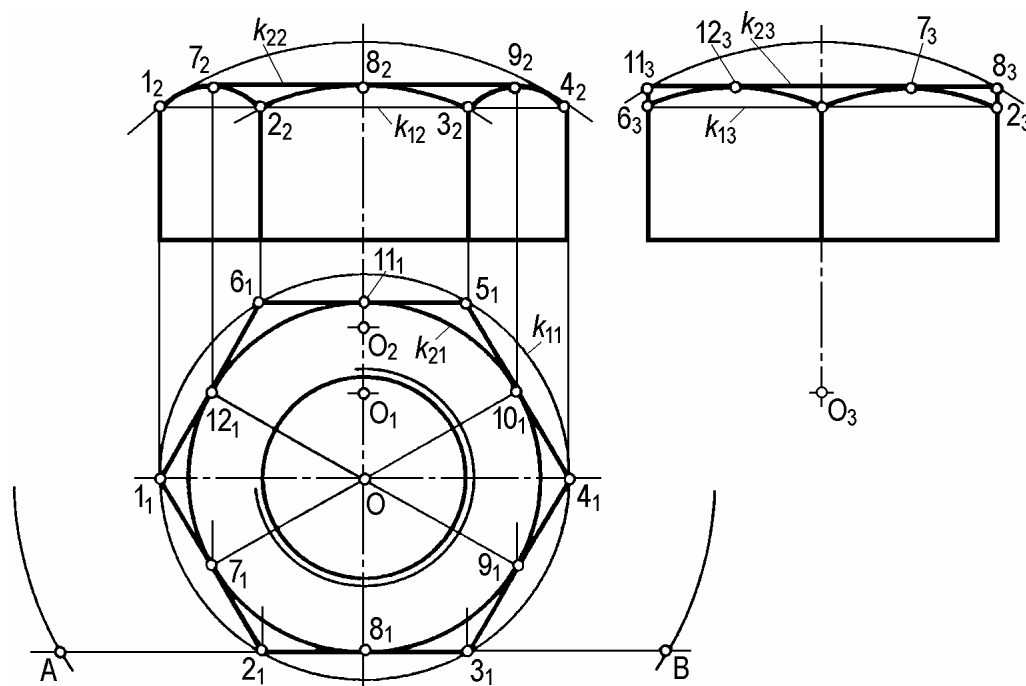


Slika 6.162. Prodor rotacijskog valjka i dijela torusa

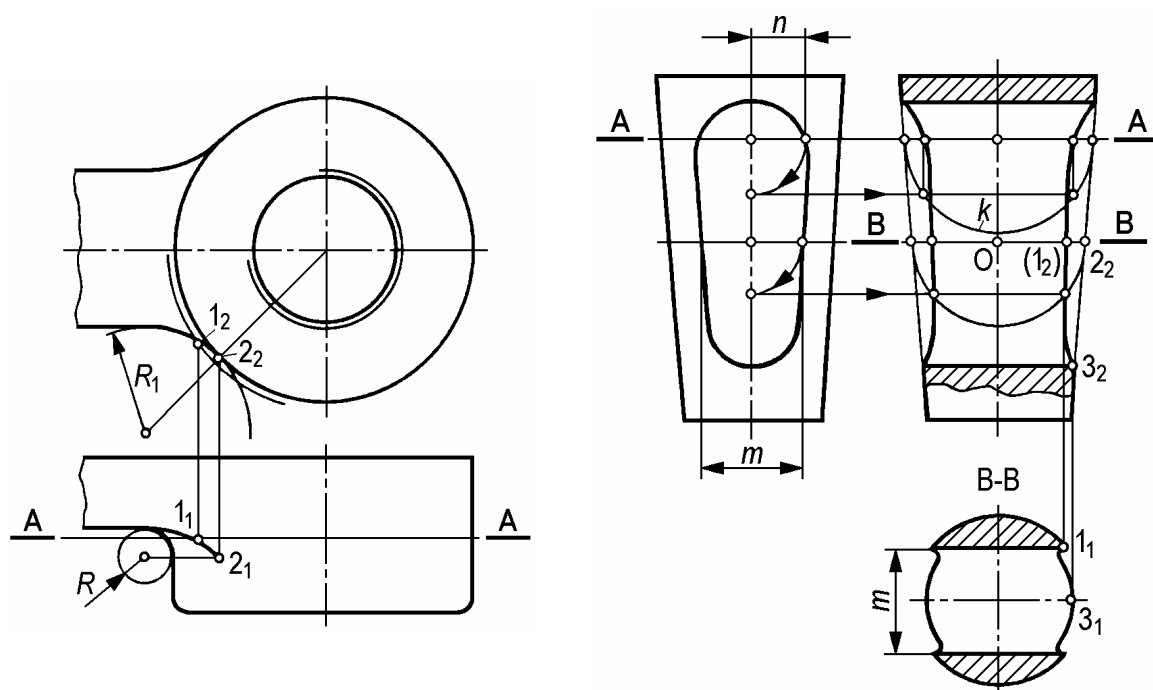
Primjer prodora rotacijskog valjka i dijela torusa (četvrtina torusa) prikazan je na slici 6.162.a. Ortogonalna projekcija (nacrt i tlocrt) prikazana je na slici 6.162.b. U ovom primjeru očigledne točke prodora jesu točke A i B, a karakteristične 1 i 4. Za određivanje projekcija međutočaka koriste se pomoćne uspravne ravnine Φ_1 , Φ_2 i Φ_3 usporedne s drugom ravninom projekcija (čiji su tragovi u tlocrtu označeni s f_{11} , f_{21} i f_{31}). Uspravna ravnina (npr. Φ_2) presijeca torus po kružnici polumjera R , a valjak po dvije izvodnice 2 i 3. Uzajamnim presjekom ovih izvodnica s kružnicom polumjera R određene su točke 2_2 i 3_2 u nacrtu, koje pripadaju traženoj crti prodora.

Šesterokuta matica (slika 6.163.) kod koje su kutovi zaobljeni sferičnom plohom predstavlja prodor pravilne šesterostrane prizme i kugle sa središtem O_1 (u nacrtu) na osi prizme. Stranice prizme presijecaju sferu u kružnim lukovima (središte zakrivljenja u nacrtu u točki O_2), koji se u tlocrtu poklapaju s projekcijama stranica prizme, u bokocrtu se projiciraju u eliptične lukove, a u nacrtu su oni u ravninama paralelnim s drugom ravninom projekcija te se projiciraju u kružnom luku. Promjer kugle može se odrediti iz tlocrta na temelju činjenice da kružnica opisana iz središta O prolazi kroz točke A i B.

Točke prodora određuju se pomoću pomoćnih presječnih ravnina (paralelnih ravnini tlocrta) koje se povlače kroz odgovarajuće točke prizme, a istodobno presijecaju i kuglu po kružnicama k_1 i k_2 . Ove se kružnice u nacrtu projiciraju kao duljine (k_{12} i k_{22}), a na njima se nalaze tražene točke prodora. Najniže točke (u nacrtu i bokocrtu) nalaze se na kružnici k_1 , koja je opisana oko šesterokuta u tlocrtu (točka 1_1 do 6_1), a najviše točke (u nacrtu i bokocrtu) nalaze se na kružnici k_{21} , upisanoj u šesterokut u tlocrtu (točke 7_1 do 12_1).



Slika 6.163. Prodor šesterostrane prizme i kugle na primjeru šesterokutne matice (pojednostavnjena metoda)



Slika 6.164. Primjer prodora valjka i anuloida

Slika 6.165. Primjer prodora konične i valjkaste plohe s ravninom

Prodor između oka i ručice poluge jest prodor valjka i anuloida s polumjerom kružnice izvodnice R_1 (slika 6.164.). Pomoćna ravnina A-A presijeca valjak po kružnici k koja na konturi ručice određuje točku 1_2 . Projiciranjem ove točke u ravninu A-A dobiva se točka prodora 1_1 . Krajnja točka 2_1 prodora leži na okomici

povučenog iz središta luka polumjera R na središnjicu valjka, a određena je spojnicom središta lukova u vertikalnoj projekciji (nacrtnu)(točka 2₂).

Na slici 6.165. dan je primjer prodora stožaste plohe s elementom ograničenim valjkastim plohama i ravninama. Pojedine točke prodora određuju se pomoću pomoćne ravnine A-A koja presijeca stožac po kružnici. Prodor se određuje tako da se presjek valjka u nacrtu zaokrene, a iz nacrtu u bokocrt prenese udaljenost n do zaokrenutog presjeka stošca u kružnici k (vidi smjer strelica). Tako dobivena točka projicira se na ravninu A-A. Presjek ravninom B-B daje u punom dijelu kružnicu s polumjerom stošca u toj ravnini ($\overline{O2}$). U prorezu je polumjer luka jednak polumjeru stošca na donjem dijelu proreza (točka 3), a širina proreza m vidljiva je u nacrtu slike 6.165.

6.8.3. Razvijanje plašteva geometrijskih tijela

Različiti strojni dijelovi koji se izrađuju savijanjem od lima najčešće su kombinacija geometrijskih tijela, npr. razne posude, spremnici, kutije, cijevi i slično. Da bi se takvi strojni dijelovi mogli izraditi, potrebno je prethodno razviti njihove plašteve (mreže) u ravninu, odnosno obilježiti lim u tzv. ispruženom ili razvijenom stanju s točno definiranim linijama sječenja i savijanja.

Svaki konstruktor mora dobro poznavati načine i postupke razvijanja plašteva (ili mreža) bilo kojeg geometrijskog oblika ovakvih strojnih dijelova te voditi računa o standardnim dimenzijama limova i možebitnim potrebnim spojevima. Kako u proizvodnji ne bi dolazilo do zastoja i pogrešaka, sve mora biti jasno definirano na tehničkim crtežima kako bi se omogućilo lako prenošenje na lim.

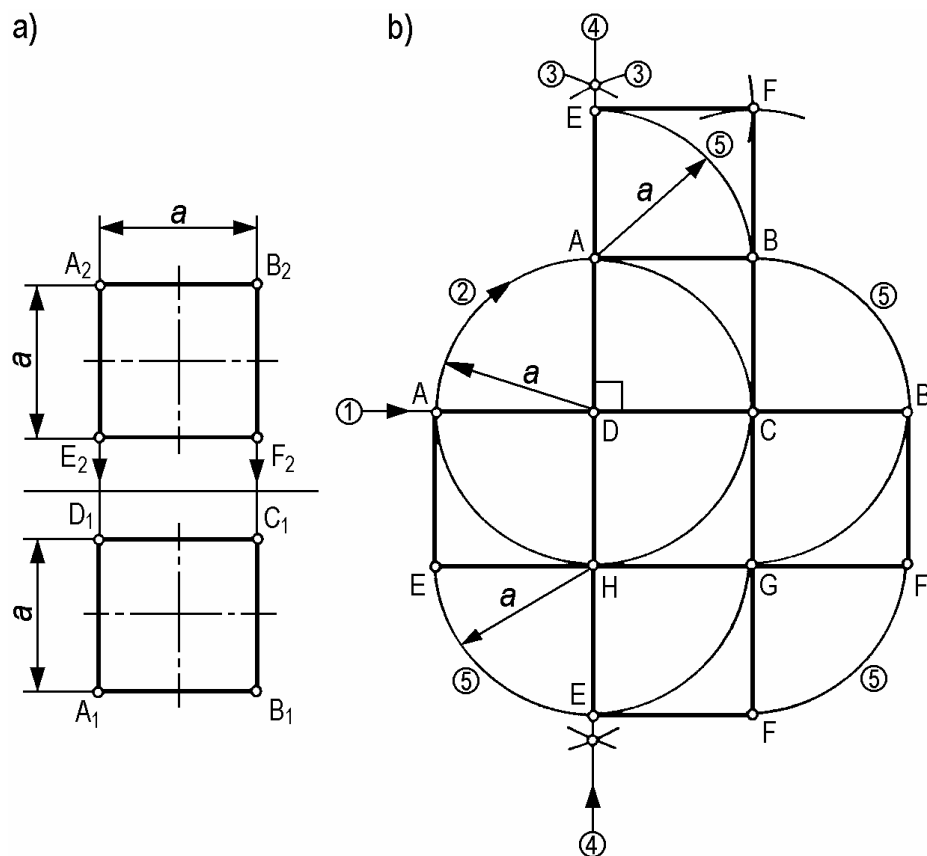
Ako se radi o strojnom dijelu koji se sastoji od geometrijskih tijela koja se međusobno prodiru, potrebno je definirati i crte prodora u razvijenim plaštevima.

Postoje različiti načini i postupci da se razvijeni plaštev geometrijskih oblika nacrtaju na razvijeni lim. Crtanje se vrlo često kombinira s jednostavnim proračunima. Najvažnije je točno utvrditi veličinu razvijenih plašteva prije njihova prenošenja na razvijeni lim. Kod limova se obično računa (ako to drugdje nije uvjetovano tehnologijom izrade) s neutralnim područjem koje se pri savijanju ne deformira (ne skraćuje i ne produljuje), tj. računa se sa sredinom debljine lima.

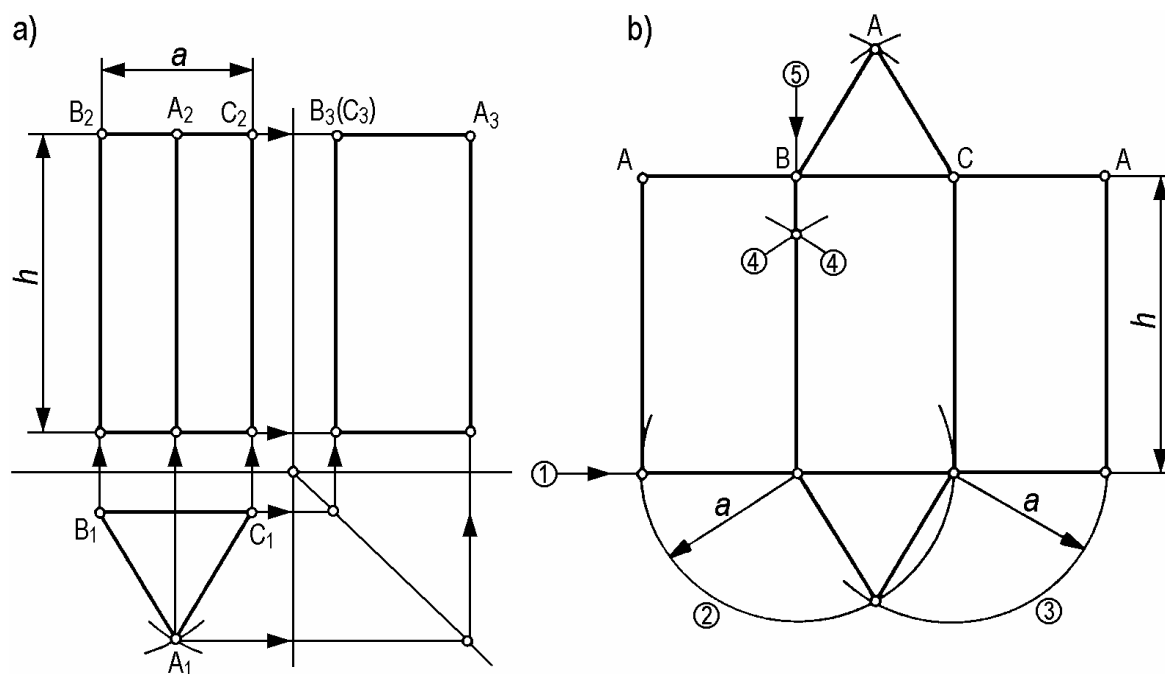
Crtež plašta mora biti u što većem mogućem mjerilu i vrlo točan (podjela na što više dijelova), jer kod složenih oblika praktično je nemoguće postupiti prema proračunu. Takvi slučajevi rješavaju se grafičkim načinom [5, 6, 7, 10, 23].

Na slikama od 6.166. do 6.171. prikazane su ortogonalne projekcije i konstrukcije plašteva uglatih geometrijskih tijela, a na slikama od 6.172. do 6.176. koso presječenih ili krnjih uglatih geometrijskih tijela. Na slikama 6.177. i 6.178. prikazane su ortogonalne projekcije i konstrukcije plašteva obliha geometrijskih tijela (uspravnog kružnog valjka i stošca), a na slikama 6.179. i 6.180. koso presječenih ili krnjih obliha geometrijskih tijela (uspravnog kružnog valjka i stošca).

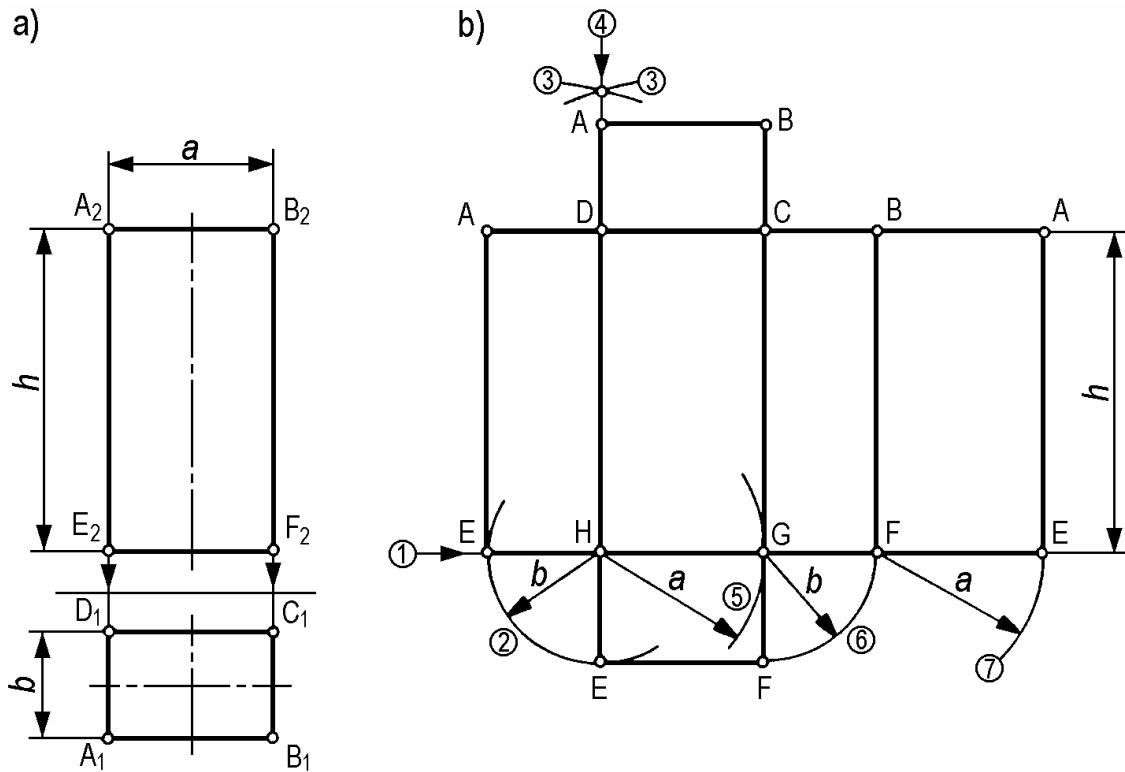
Na svim tim slikama smjer strelica i zaokruženi brojevi kod konstrukcije mreža označavaju redoslijed postupka njihovog konstruiranja.



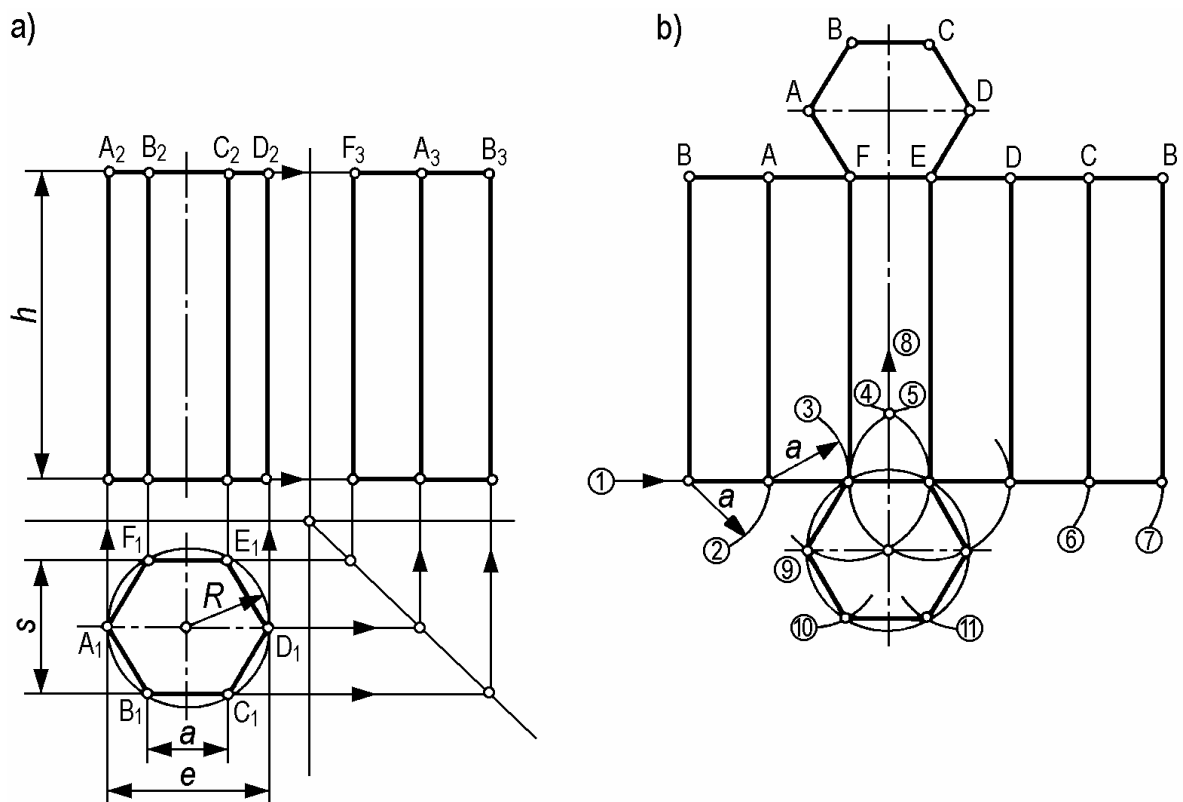
Slika 6.166. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) kocke



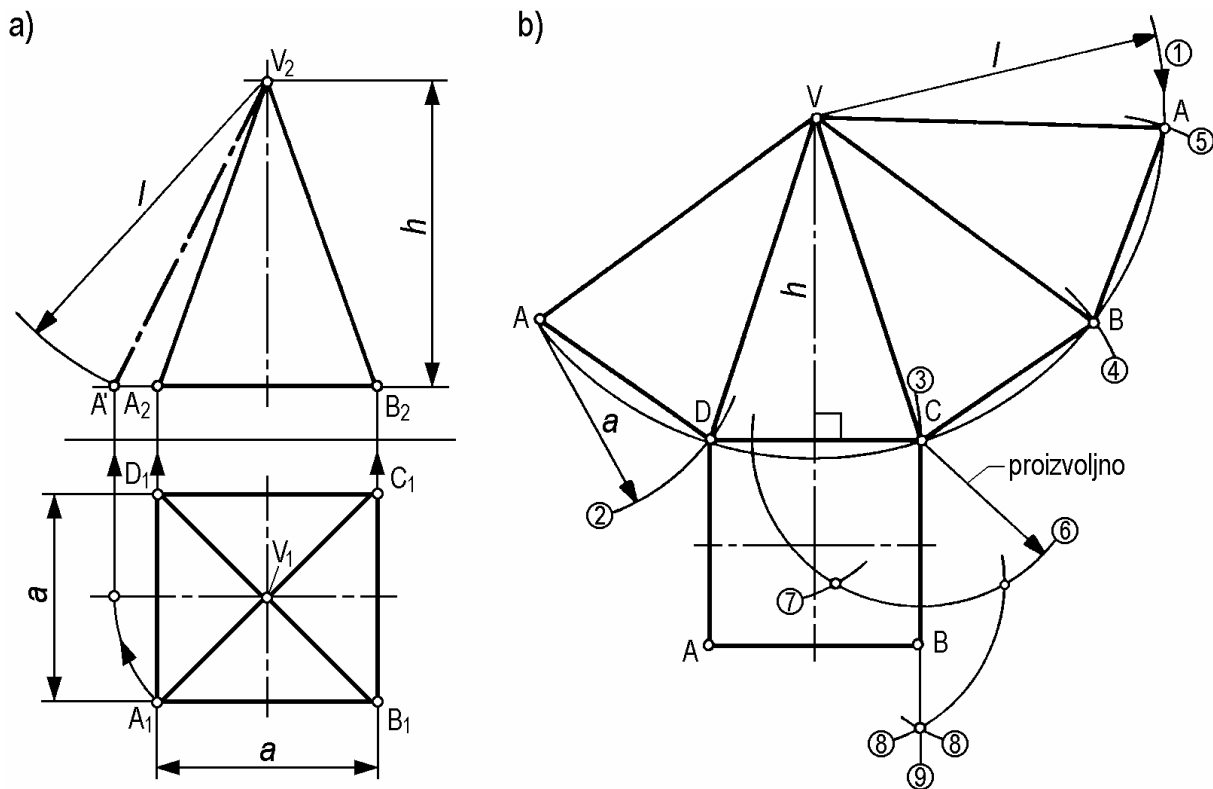
Slika 6.167. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravne pravilne trostrane prizme



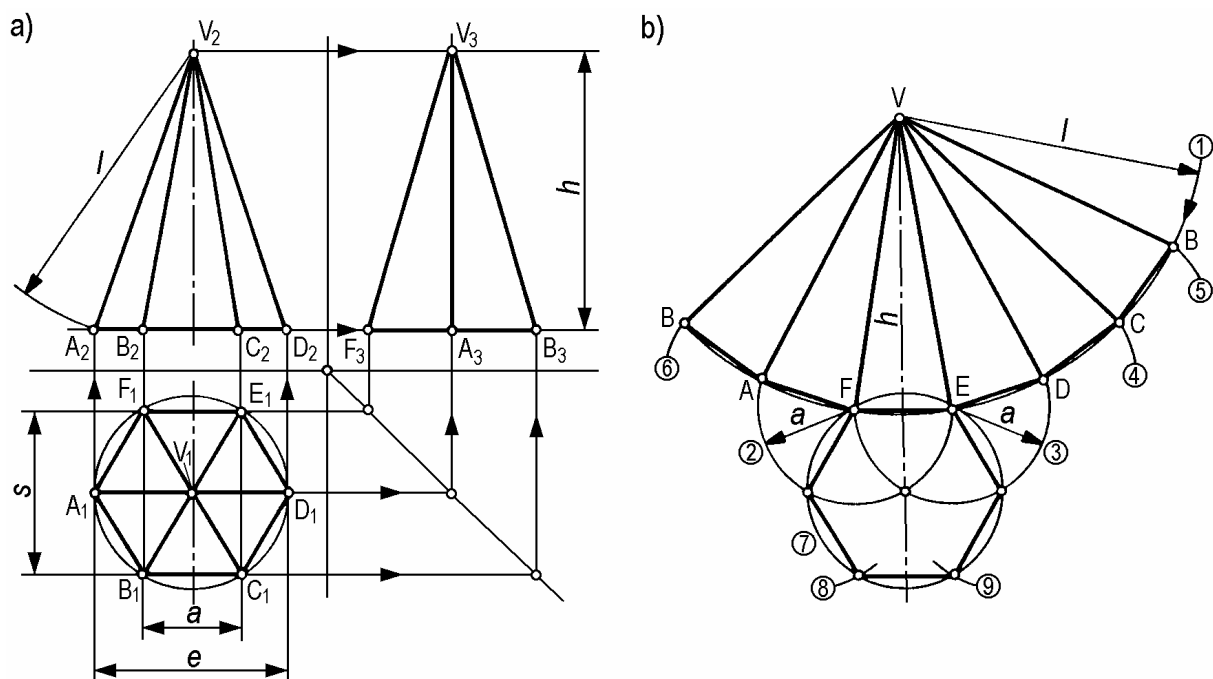
Slika 6.168. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravnog paralelopipeda (kvadra)



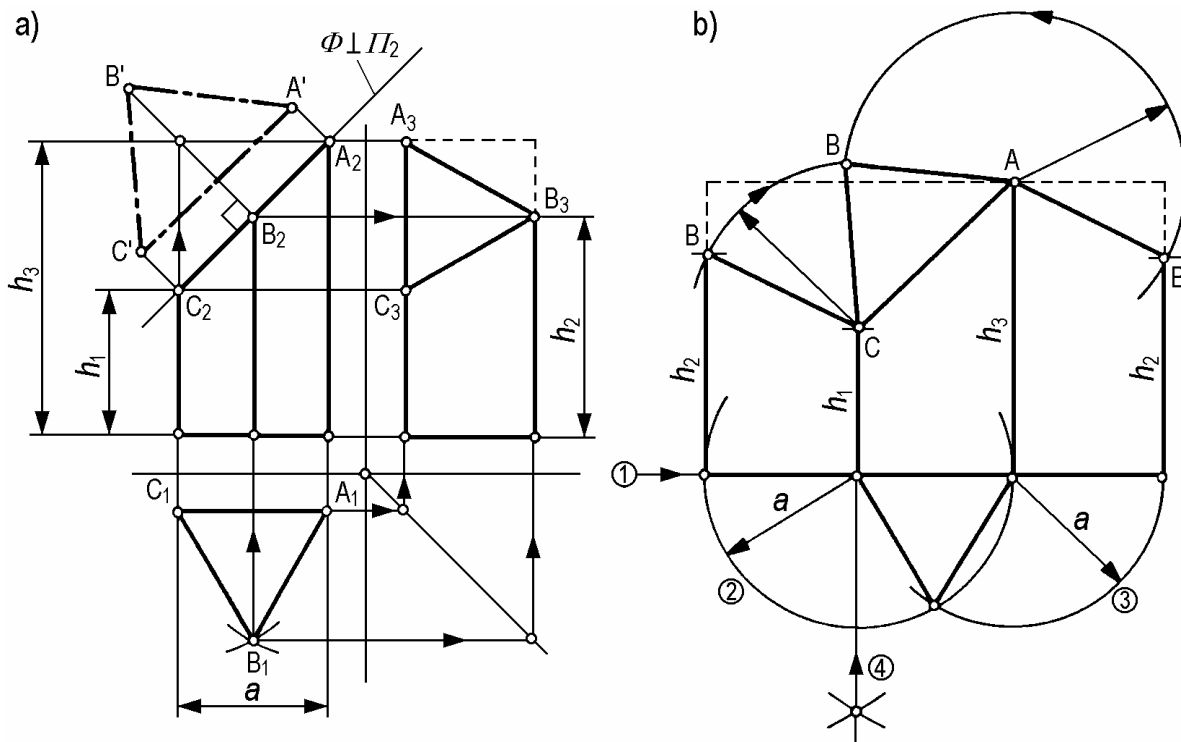
Slika 6.169. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravne pravilne šesterostrane prizme



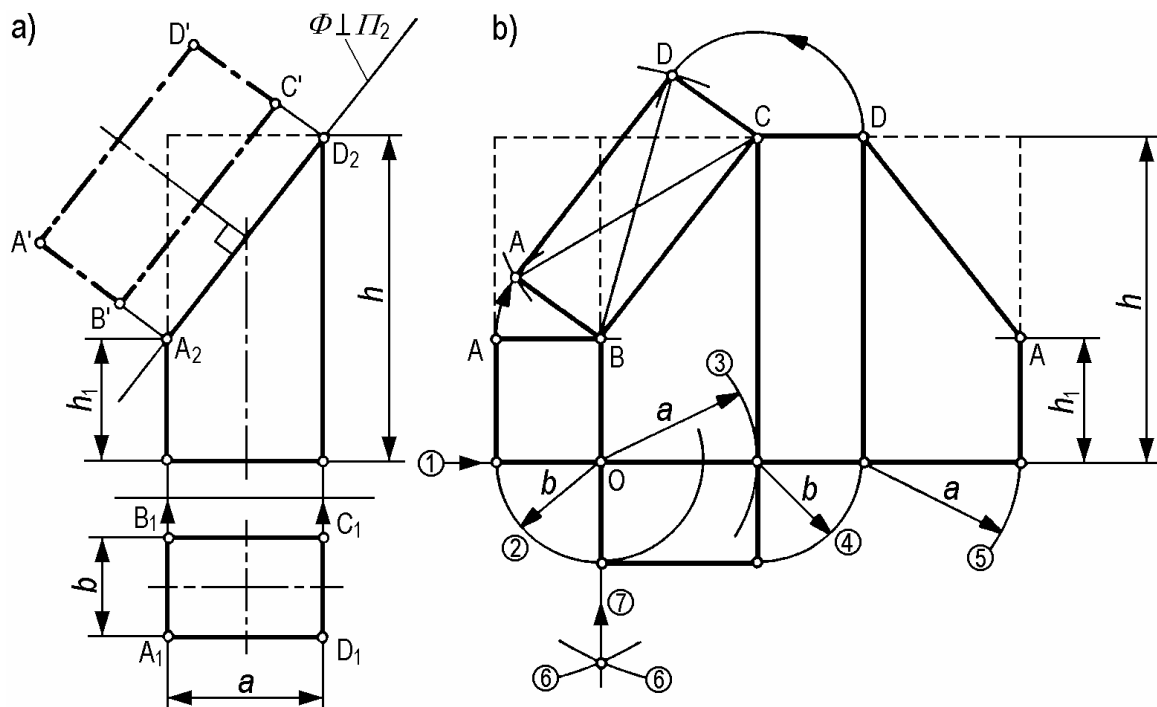
Slika 6.170. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravne pravilne četverostrane piramide



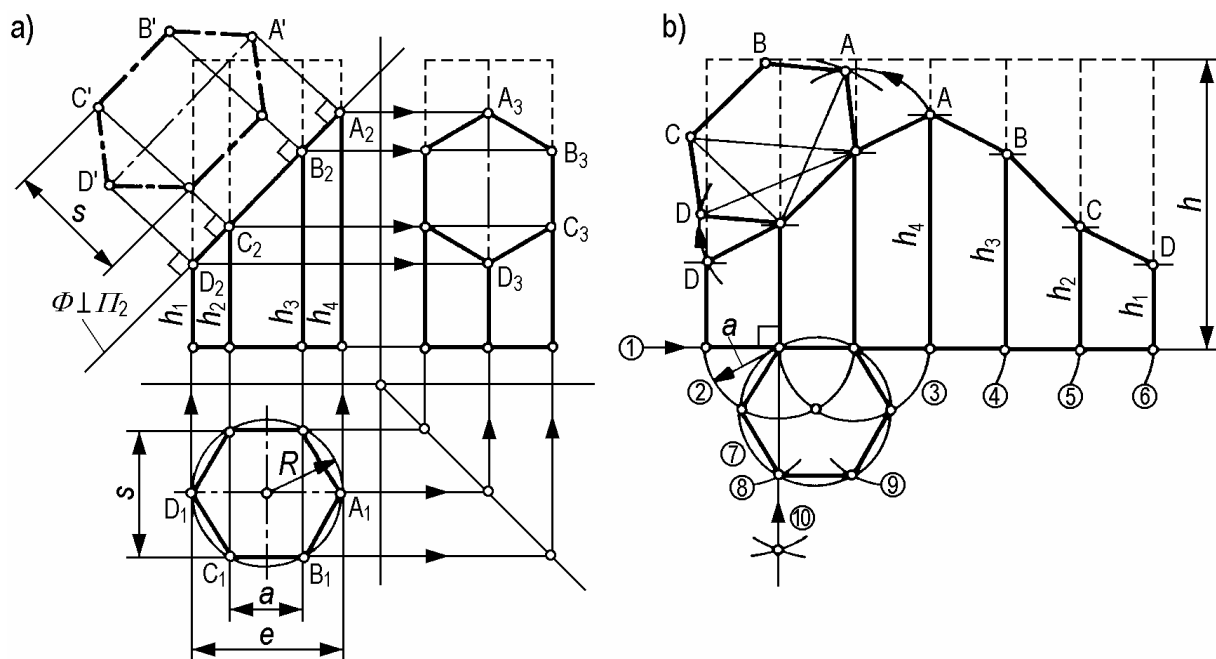
Slika 6.171. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravne pravilne šesterostrane piramide



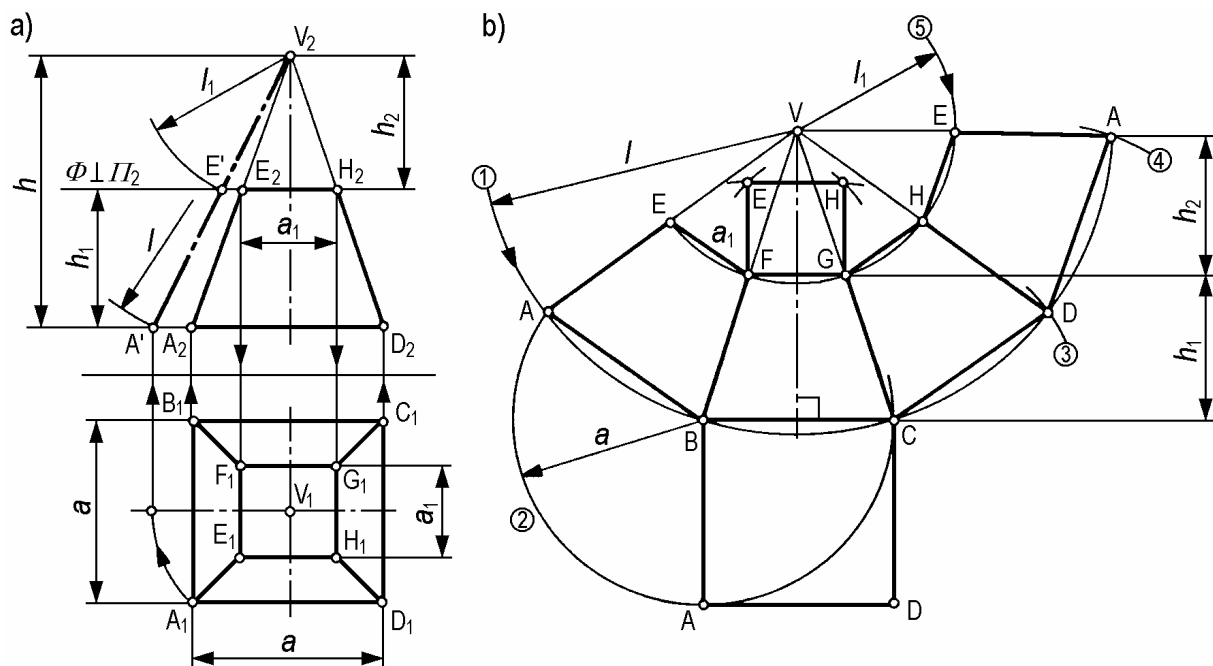
Slika 6.172. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) presječne uspravne pravilne trostrane prizme



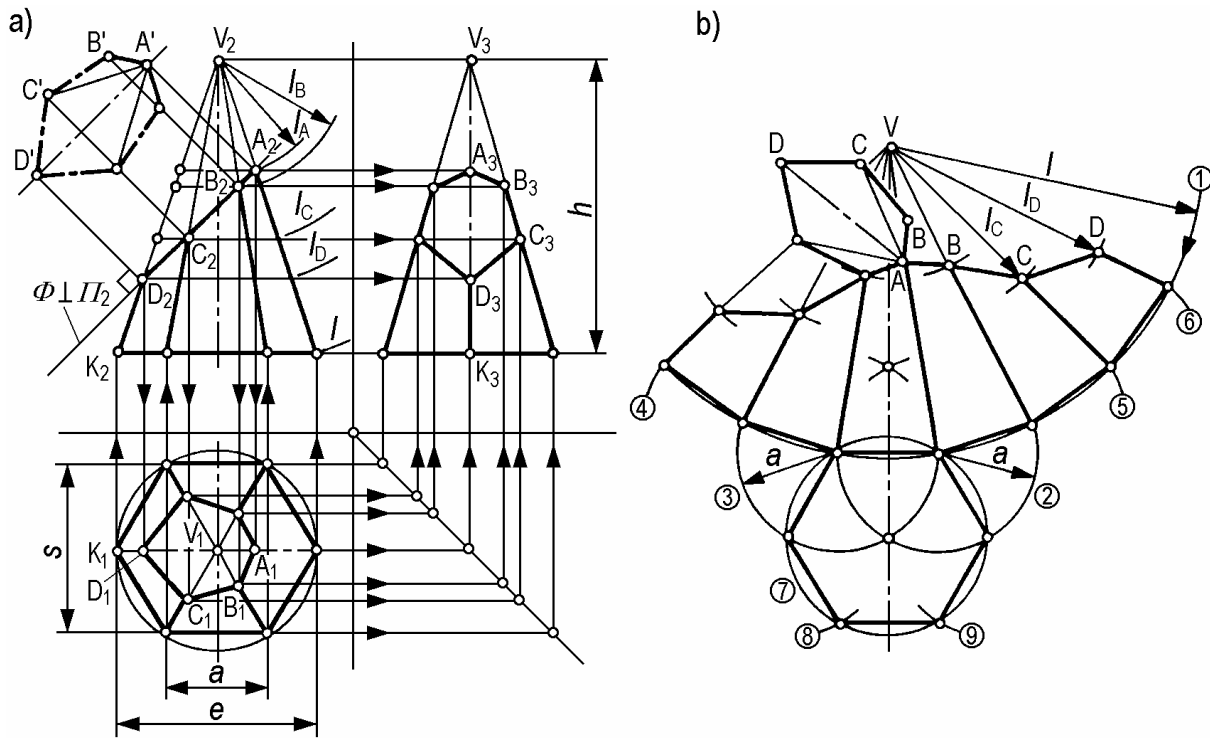
Slika 6.173. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) presječnog paralelopipeda (kvadra)



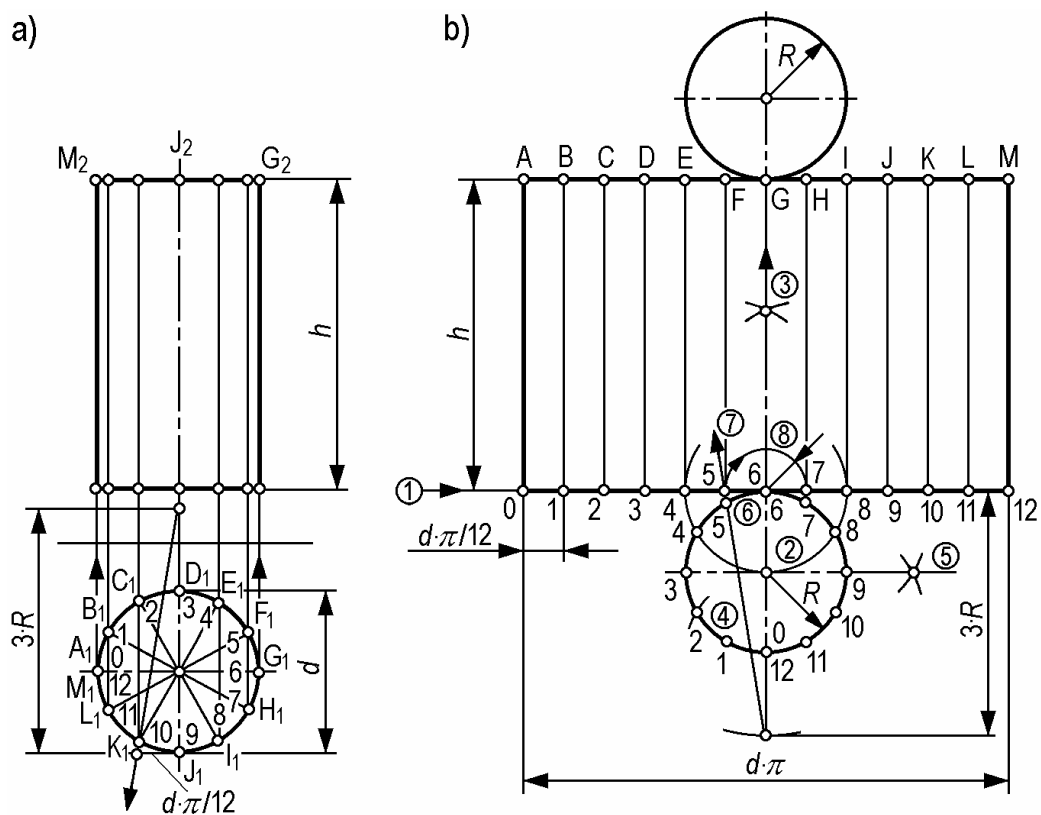
Slika 6.174. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) presječne uspravne pravilne šesterostrane prizme



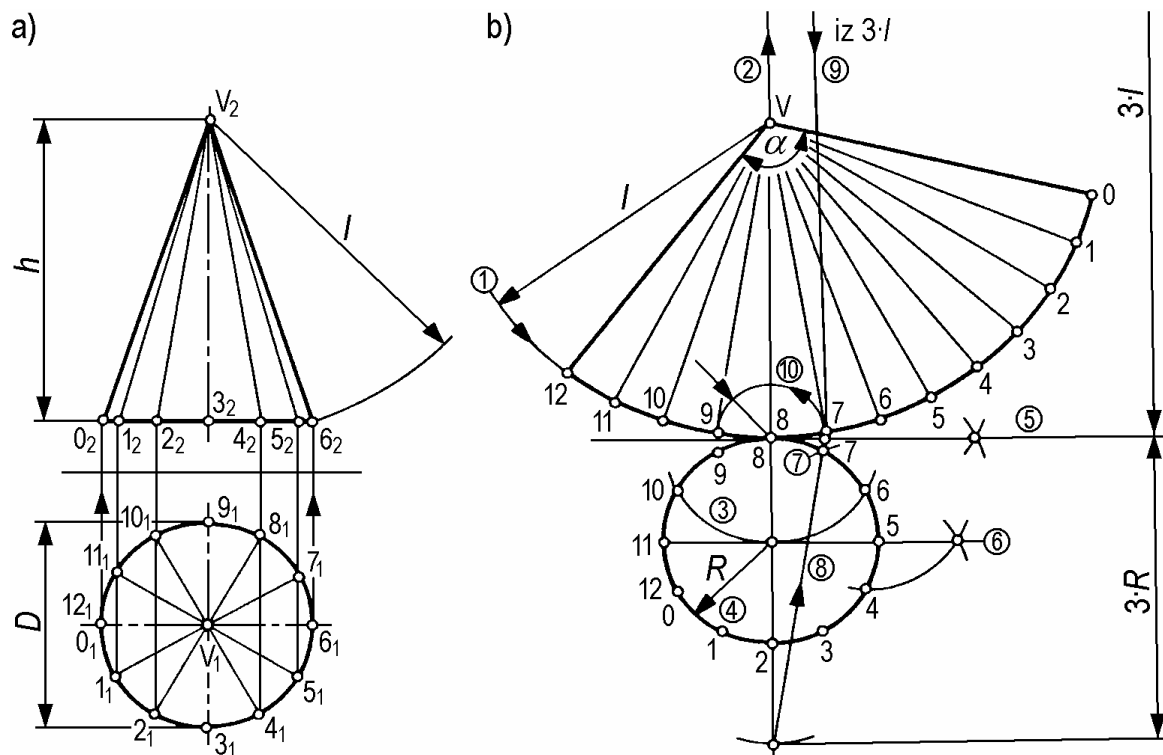
Slika 6.175. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) krnje pravilne uspravne četverostrane piramide



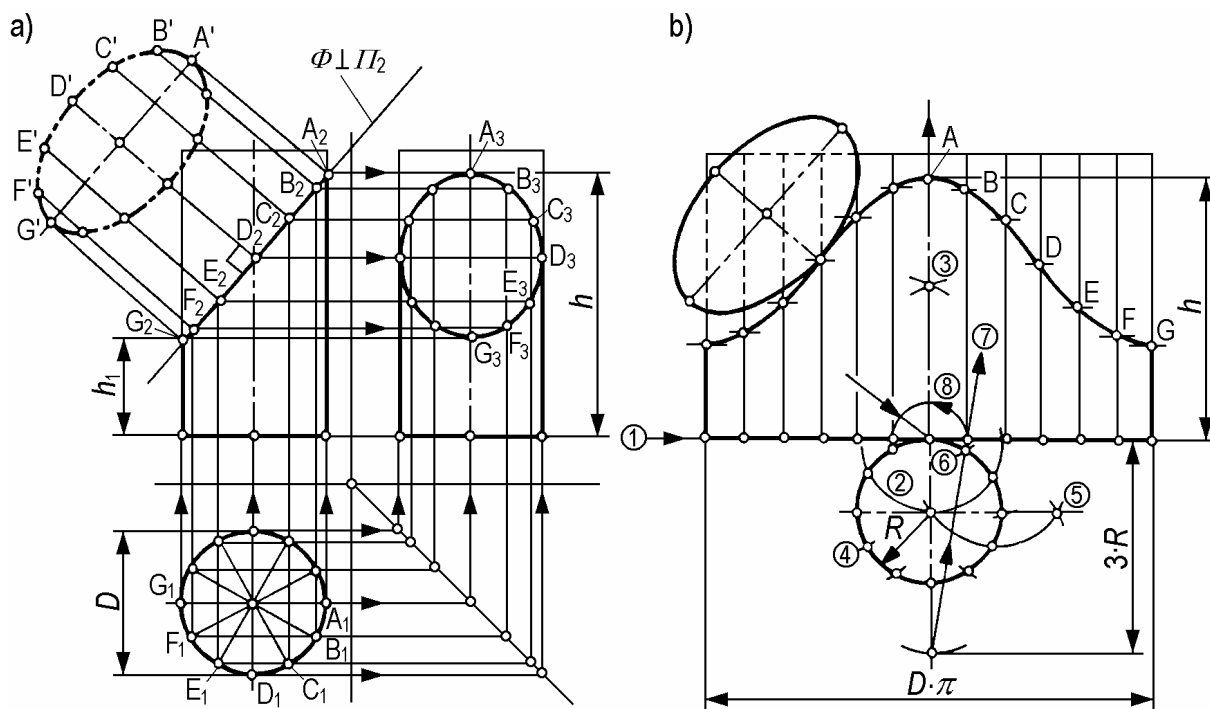
Slika 6.176. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) presječne pravilne uspravne šesterostrane piramide



Slika 6.177. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravnog kružnog valjka

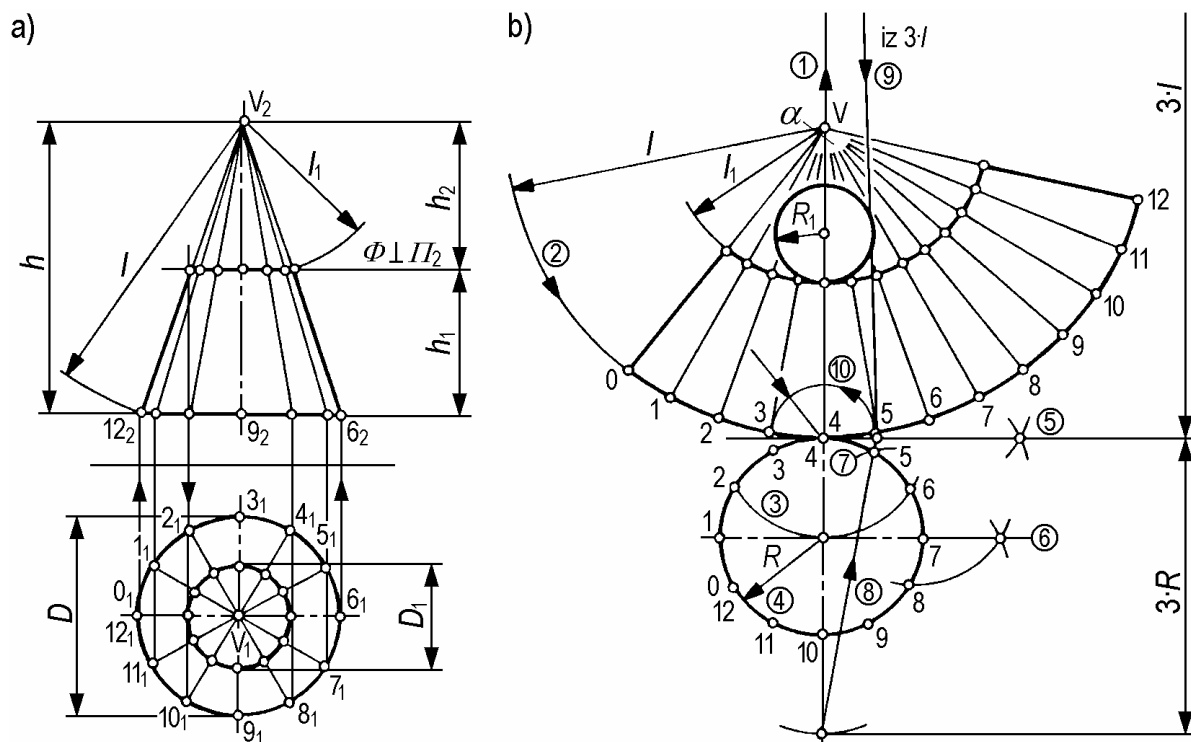


Slika 6.178. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravnog kružnog stošca

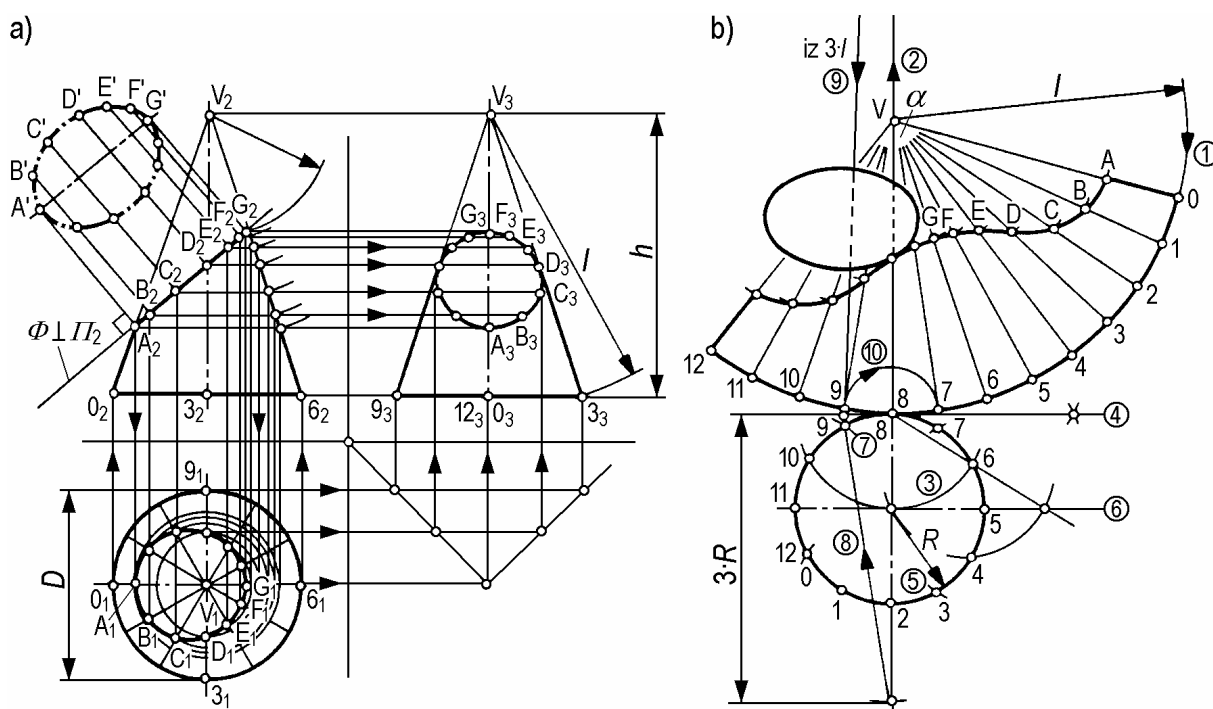


Slika 6.179. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) presječenog uspravnog kružnog valjka

Na slici 6.181. prikazane su ortogonalne projekcije i konstrukcija plašta uspravnog kružnog stošca presječenog ravninom Φ okomitom na ravninu Π_2 s elipsom kao presjekom.



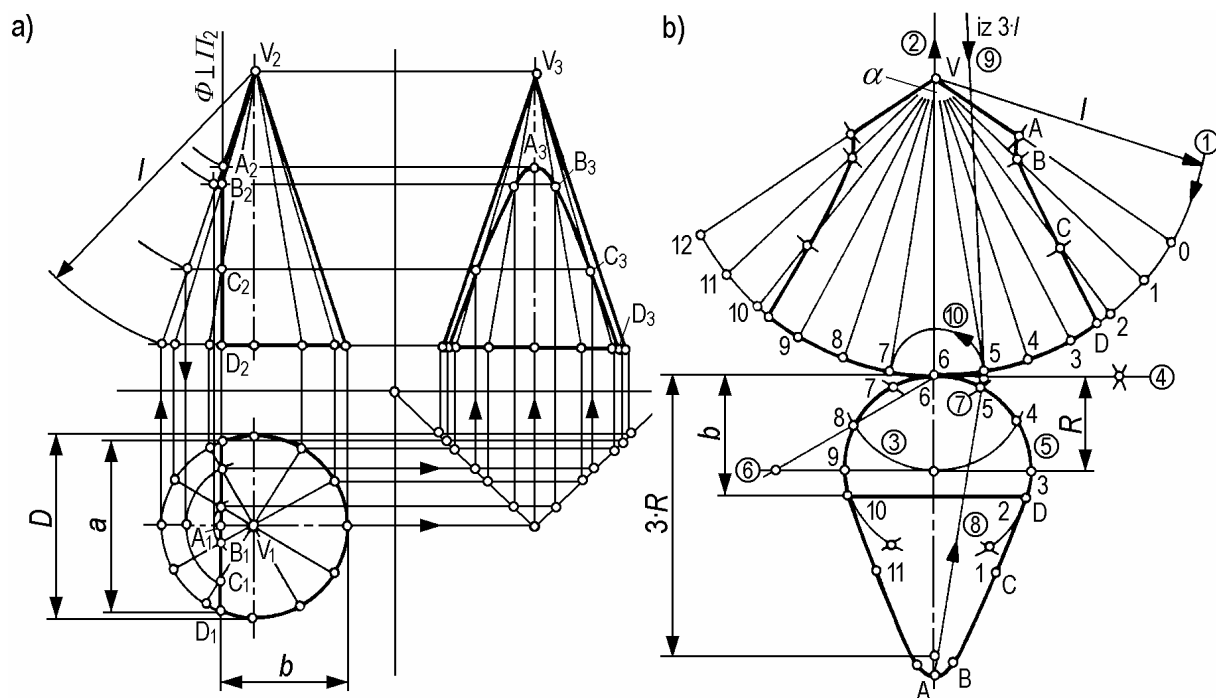
Slika 6.180. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravnog krnjeg kružnog stošca



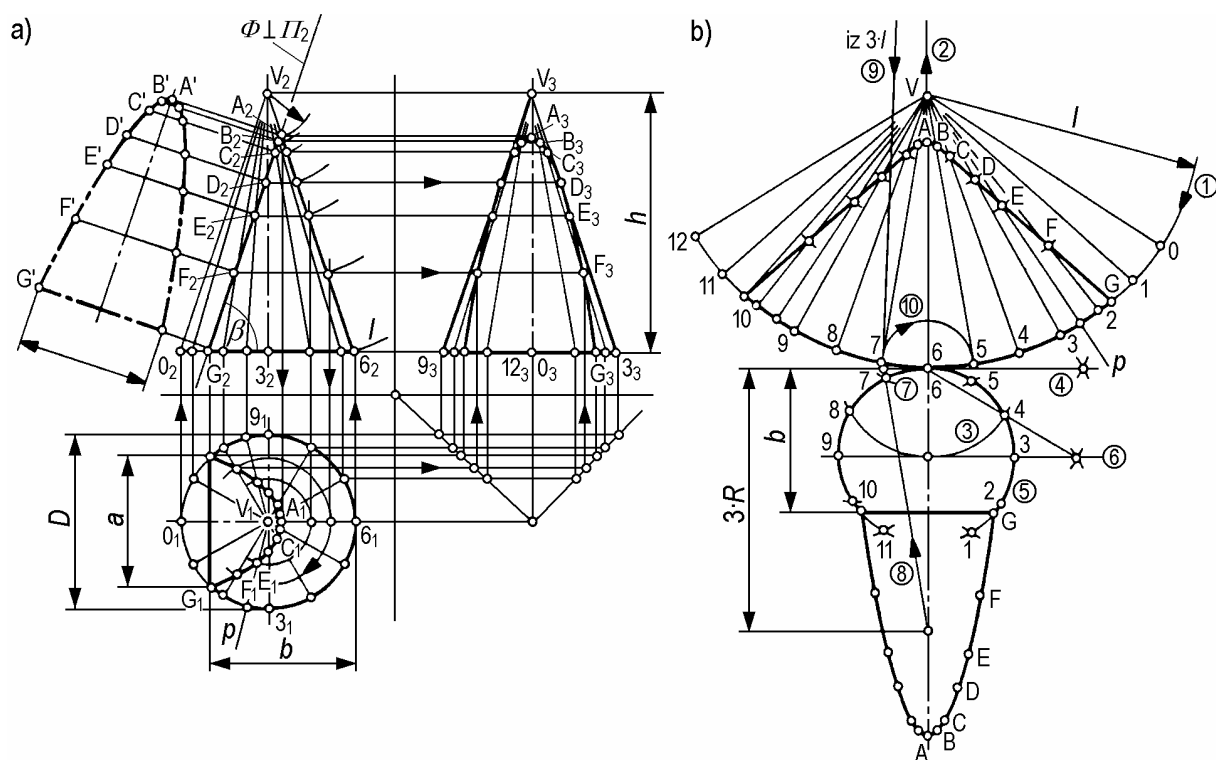
Slika 6.181. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravnog kružnog stošca sječnog u elipsi

Na slici 6.182. prikazane su orthogonalne projekcije i konstrukcija plašta uspravnog kružnog stošca presječnog ravninom Φ okomitom na ravninu Π_2 s hiperbolom kao presjekom, a na slici 6.183. orthogonalne projekcije i konstrukcija

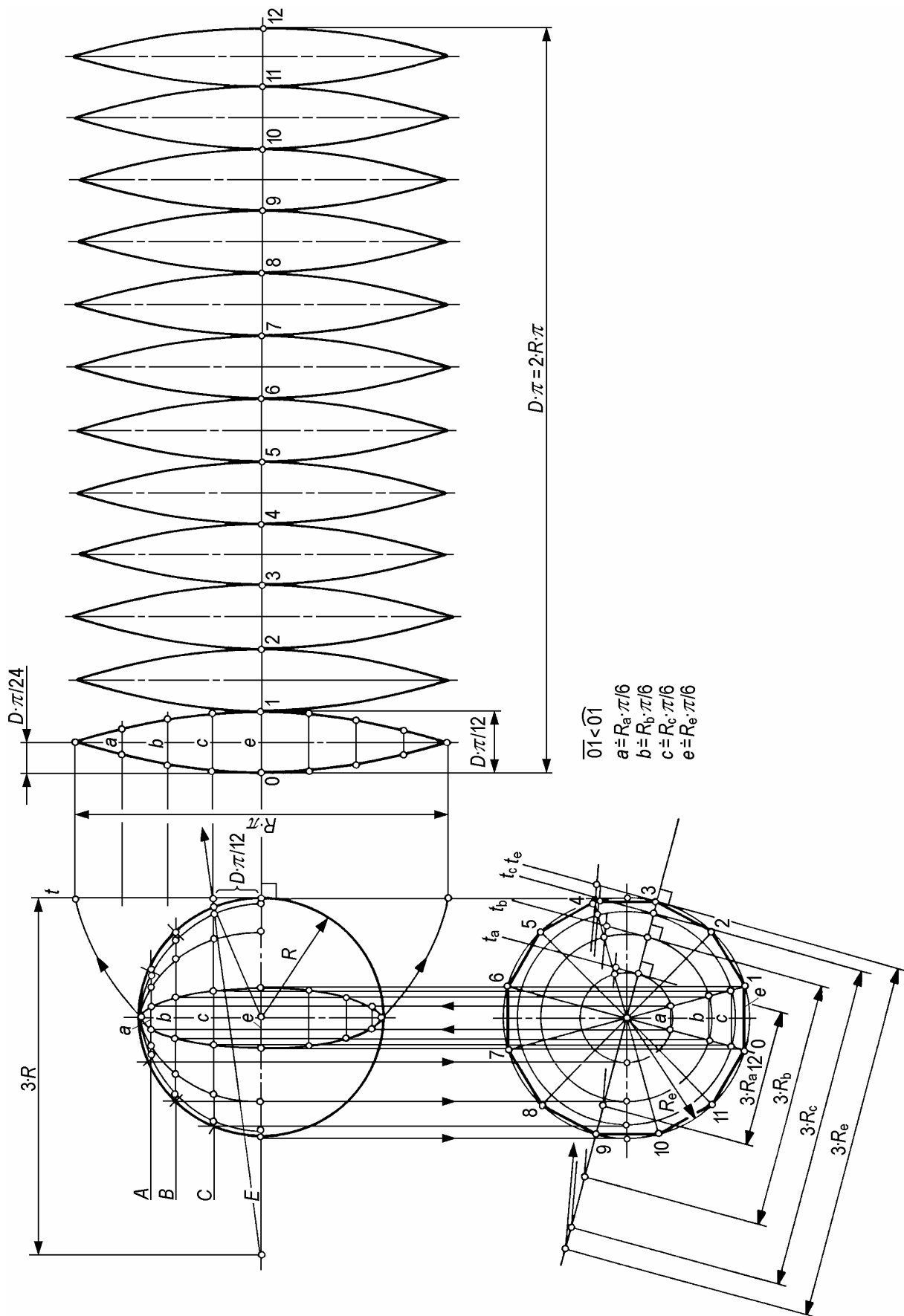
plašta kružnog stošca presječenog ravninom Φ okomitom na ravninu Π_2 s parabolom kao presjekom.



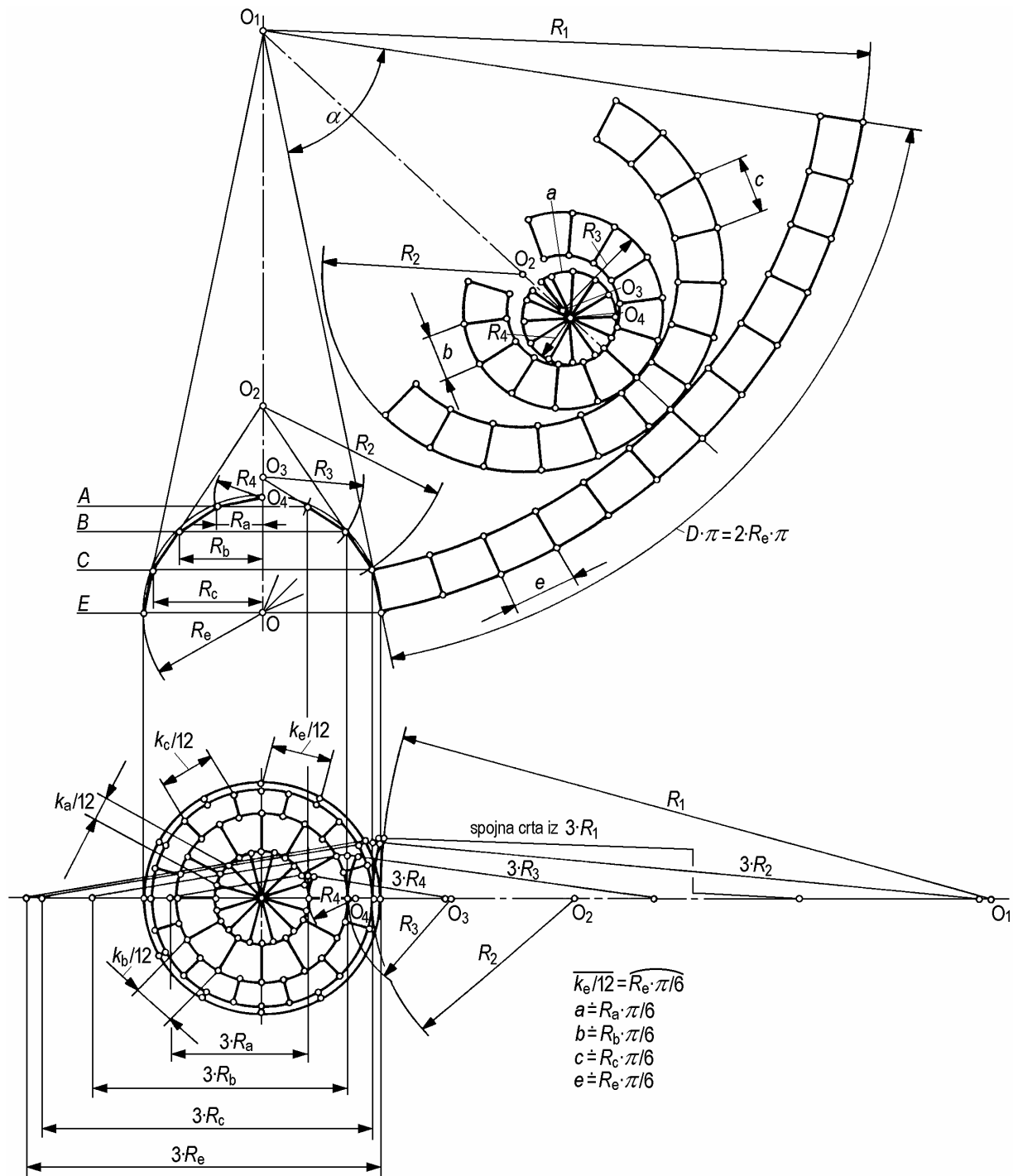
Slika 6.182. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravnog kružnog stošca sječenog u hiperboli



Slika 6.183. Ortogonalne projekcije (a) i konstrukcija plašta (b) uspravnog kružnog stošca sječenog u paraboli



Slika 6.184. Razvijanje plašta kugle metodom dvokuta

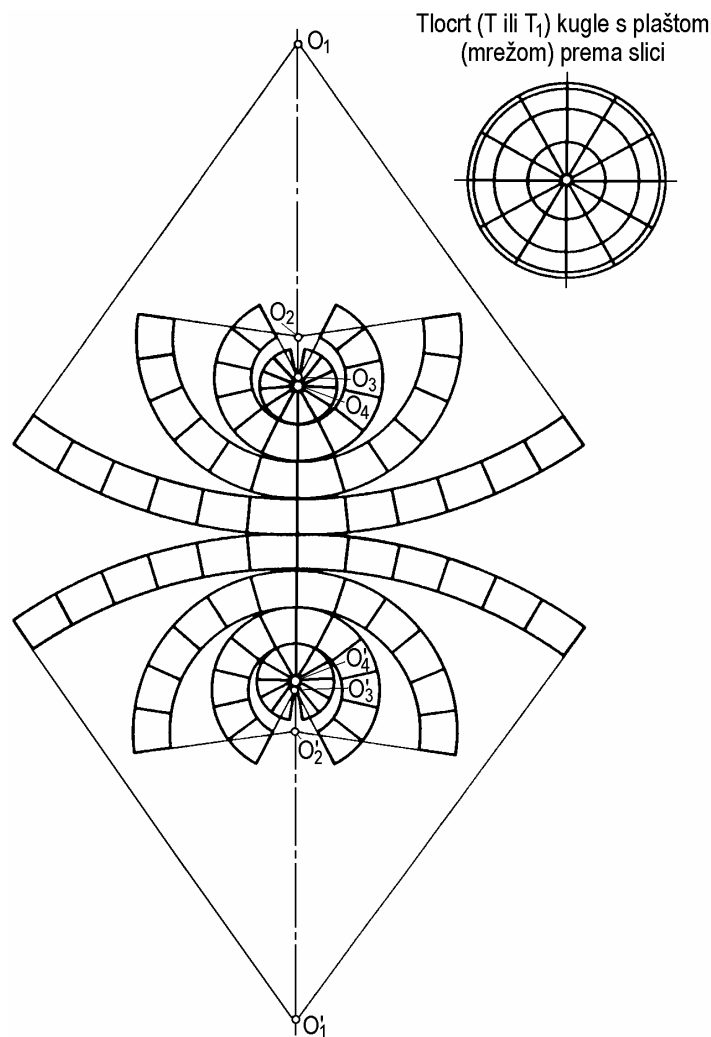


Slika 6.185. Razvijanje plašta kugle metodom tangencijalnih stožaca

Kugla je geometrijsko tijelo čiji se oblik vrlo često zbog podesnog obujma upotrebljava za razne spremnike od lima. Razvijanje plašta kugle vrlo je složeno za proračun, pa se uglavnom koriste grafičke metode. Na slici 6.184. prikazano je razvijanje plašta (mreže) kugle metodom dvokuta. Na taj način dobiva se razvijeni plašt sastavljen od određenog broja (npr. dvanaest) segmenata, od kojih svaki predstavlja razvijeni dio kugline plohe između dva meridijana. Pomoćne ravnine A,

B i C povučene su zamišljenim paralelama, a pomoćna ravnina E povučena je zamišljenim ekvatorom kugle.

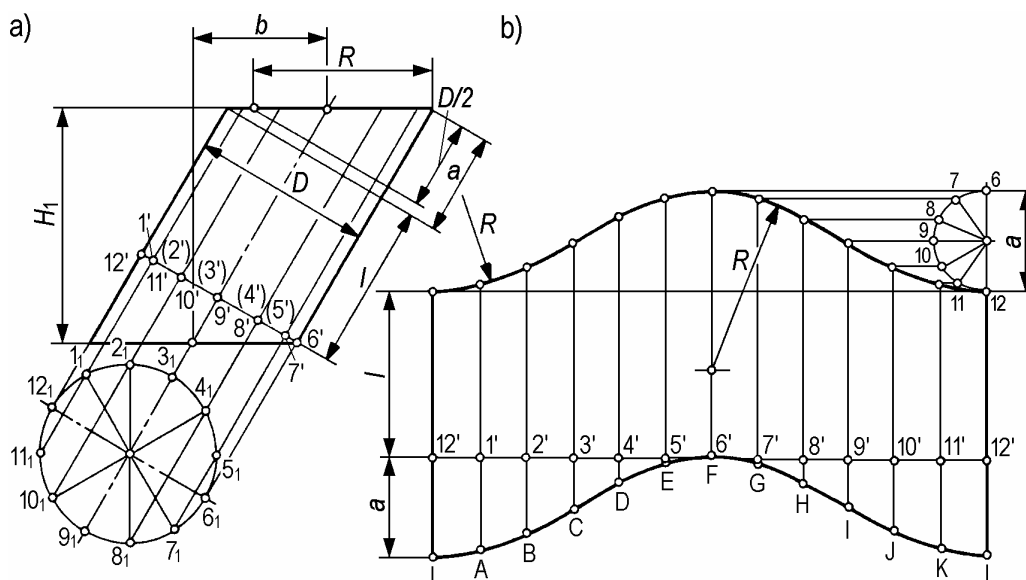
Na slici 6.185. prikazano je razvijanje plašta kugle metodom tangencijalnih stožaca (slika prikazuje samo polovinu plašta, a cijeli plašt prikazan je na slici 6.186.). Točke O_1 , O_2 , O_3 i O_4 (nacrt na slici 6.185.) predstavljaju vrhove tangencijalnih stožaca s osnovicama u pomoćnim ravninama E, C, B i A koje su povučene zamišljenim paralelama kugle. Pomoćne ravnine dijele kuglu u pojase (zone) koji se mogu podijeliti u segmente na načine prikazane u tlocrtima slike 6.185. i 6.186.



Slika 6.186. Razvijeni plašt kugle dobiven metodom tangencijalnih stožaca

Razvijeni plašt kosog kružnog valjka od lima (slika 6.187.b) konstruira se diobom valjka na tri dijela: srednji cilindrični dio duljine l i dva jednaka skošena dijela na krajevima (slika 6.187.a). Presjek okomito na os rotacije valjka je kružnica, obje osnovice su elipse. Kružni presjek podijeli se na određeni broj jednakih dijelova (npr. 12), a zatim se kroz dobivene točke (od 1 do 12) povlače crte paralelne sa središnjicom kosog valjka (preciznost se povećava podjelom

kružnice na veći broj dijelova). Karakteristične točke na mjestu presjeka okomitom ravninom označene su brojevima od 1' do 12' (brojevi u zagradama označavaju točke koje se nalaze sa stražnje strane kosog valjka). Za konstrukciju plašta potrebno je povući pravac 12' - 12' na koji se rektificira (razvija) opseg kružnog presjeka, tj. na koji se prenose duljine lukova svih dijelova kružnice (slika 6.187.b). Kroz dobivene točke povlače se okomice, zatim se na okomicu u točki 12' (s lijeve strane slike) nanosi duljina l iznad pravca, a duljinu a ispod pravca. Pravokutnikom visine l i duljine 12' - 12' određen je plašt srednjeg dijela kosog valjka. Na okomice u točkama od 1' do 11' nanose se (prema dolje) odgovarajuće duljine skošenog dijela valjka. Spajanjem tako dobivenih točaka L, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L određuje se razvijena krivulja donje osnovice. Ako se sada iz tih točaka prema gore nanese duljina izvodnice valjka ($l+a$), dobit će se i razvijena krivulja gornje osnovice valjka.



Slika 6.187. Konstrukcija plašta kosog kružnog valjka

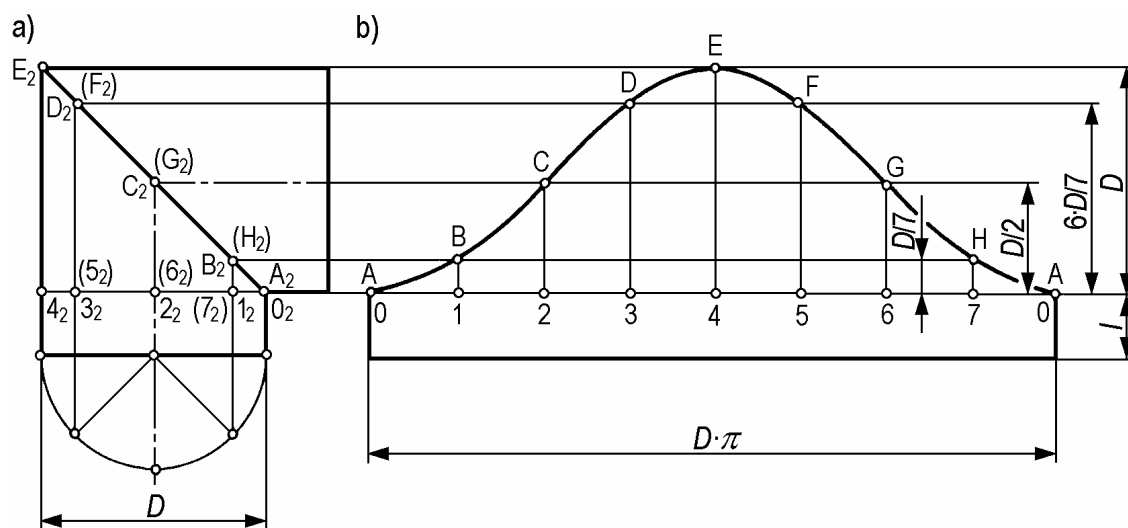
Razvijena krivulja gornje osnovice valjka može se konstruirati i pomoću kružnice promjera a podijeljene na dvanaest jednakih dijelova.

Polumjer zakrivljenja R može se odrediti tako da se na kosi valjak nanese od gornjeg kraja $D/2$ i očita horizontalna izmjera (slika 6.187.a). U praksi su obično zadane veličine D , H_1 i b , a duljine a i l mogu se izračunati iz jednadžbi:

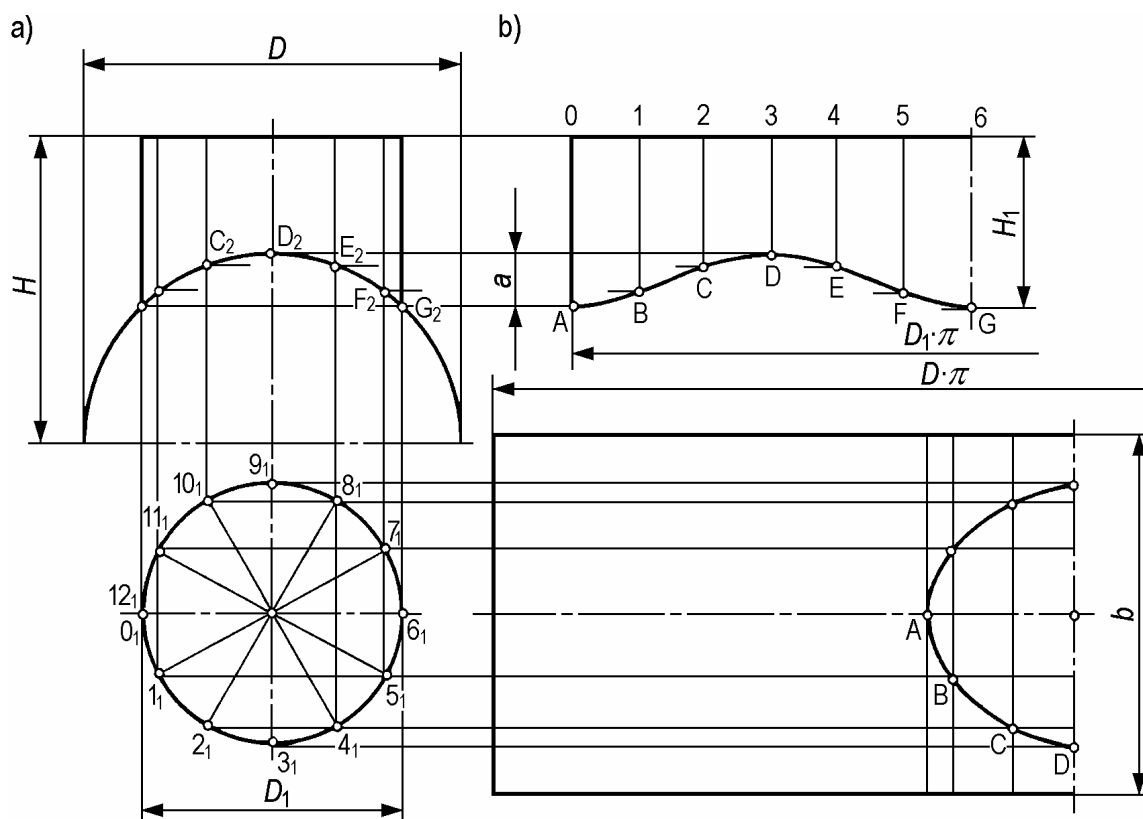
$$l + a = \sqrt{H_1^2 + b^2} \quad \text{i} \quad H_1 : b = D : a.$$

U slučaju razvijanja plašta cijevi cijevnog koljena na slici 6.188.a (cijevi su istog promjera D i osi im se sijeku pod pravim kutom), može se primijeniti način prikazan na slici 6.179. ili pak način prikazan na slici 6.188.b. Projekciju cijevi (kružnicu) potrebno je razdijeliti npr. na 8 jednakih dijelova koji se razvijeni

prenose na pravac 0 - 0. U točkama na pravcu povuku se okomice i paralelama prenesu točke A, B, C, D, E, F, G, H, A iz nacrt. Brojevi i slova u zagradama označavaju točke koje se nalaze na stražnjoj strani cijevnog koljena.



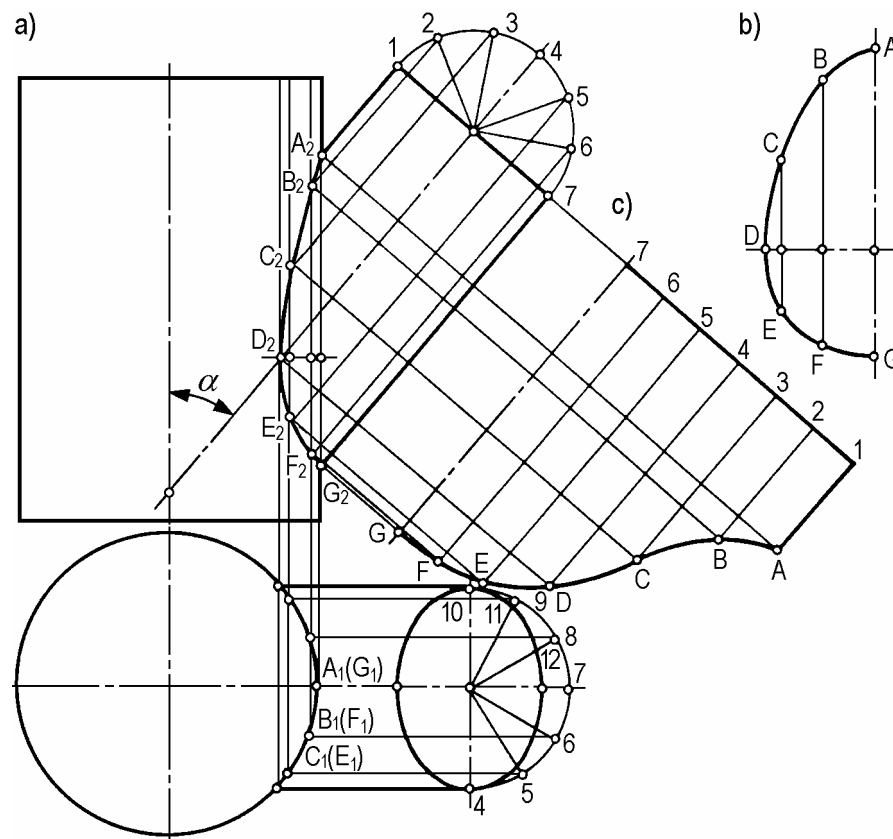
Slika 6.188. Razvijanje plašta cijevi cijevnog koljena



Slika 6.189. Razvijanje plašta valjaka različitih promjera s osima rotacije koje se sijeku pod pravim kutom

Razvijanje plašta dvaju valjaka različitih promjera s osima rotacije koje se sijeku pod pravim kutom prikazano je na slici 6.189. Tlocrt manjeg valjka

(kružnica) razdjeli se na npr. 12 jednakih dijelova, kroz koje se povlače okomice, te u nacrtu odrede točke A, B, ..., G. Plašt manjeg valjka dobije se tako da se prvo povuče pravac na koji se nanese razvijeni dijelovi kružnice iz tlocrta (na slici 6.189.b prikazana je samo polovina plašta manjeg valjka), a zatim povlačenjem paralela u presjeku s okomicama odrede točke od A do G. Plašt većeg valjka odredi se računski, tako da se izračuna opseg $D \cdot \pi$ koji se nanese na pravac, a zatim se nacrtava pravokutnik čija je kraća stranica jednaka duljini valjka b . Na ovom plaštu (nacrtana je samo polovina plašta) mora se naći i prodor za manji valjak. Za podjelu kružnog luka većeg valjka može se iskoristiti postojeća podjela tlocrta manjeg valjka (točke od A do G u nacrtu - slika 6.189.a). Na polovini plašta ucrtava se uspravna i vodoravna simetrala plašta, a zatim se nanese duljine odgovarajućih lukova iz nacrtu (luk AB, BC, CD itd.). U tako dobivenim točkama na vodoravnoj simetrali povuku se okomice, odnosno paralele iz tlocrta. U presjeku paralela s okomicama dobiju se karakteristične točke (A, B, C, D itd.) čijim se spajanjem definira krivulja prodora po kojoj treba izrezati plašt većeg valjka.



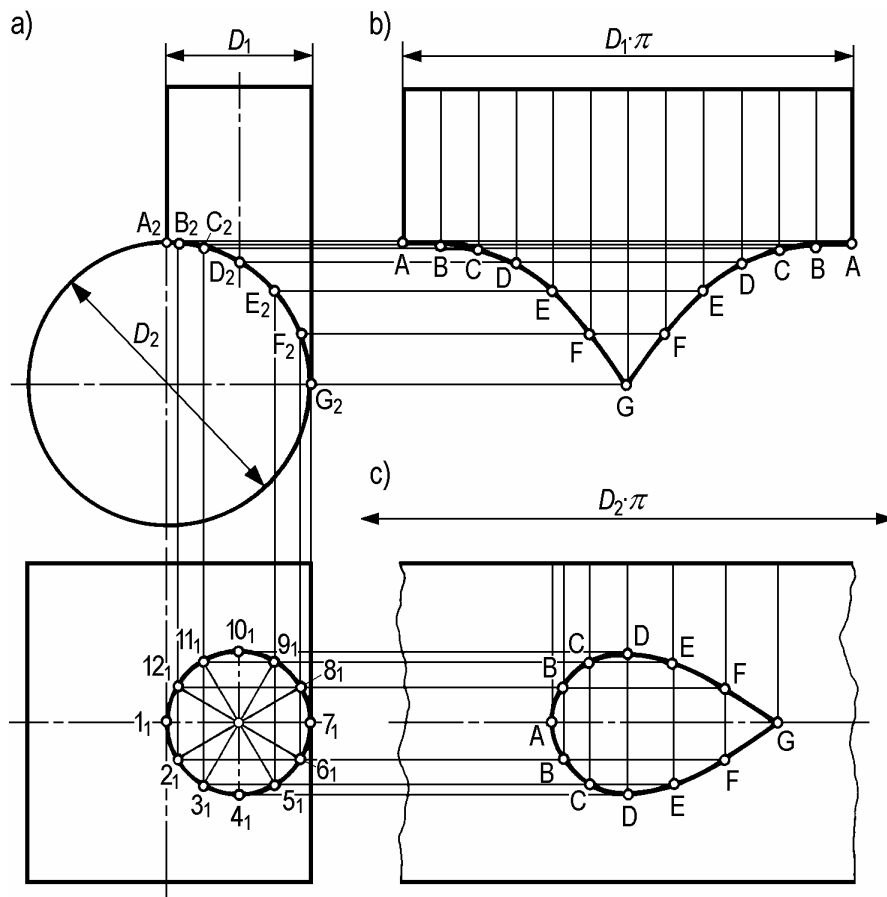
Slika 6.190. Razvijanje plašta valjaka različitih promjera s osima rotacije koje se sijeku pod kutom

Na slici 6.190. prikazano je razvijanje plašta s prodorom dvaju valjaka različitih promjera i osima rotacije koje se međusobno sijeku pod kutom α . Postupak se svodi na to da se nad manjim valjkom u nacrtu i tlocrtu opiše polukružnica koja se razdjeli na određen broj (npr. 6) jednakih dijelova i zatim označi (npr. brojevima od 1 do 7 u nacrtu, odnosno od 1 do 12 u tlocrtu). Kroz

diobene točke na polukružnici povlače se u nacrtu i tlocrtu paralele s osi rotacije manjeg valjka. Zatim se iz tlocrta povlače izvodnice većeg valjka kroz dobivene točke A, B, C, D itd. Ove se točke projiciraju na odgovarajuće izvodnice manjeg valjka (točke A, B, C, D itd. u nacrtu) i međusobno spojene određuju prodor u nacrtu.

Za razvijanje plašta potrebno je povući pravac okomit na os rotacije manjeg valjka (slika 6.190.c) i na njega nanijeti opseg manjeg valjka, odnosno duljine lukova 12, 23, 34 itd. Kroz ove dijelove povlače se paralele s osi rotacije i na njih projiciraju točke A, B, C, D itd. iz nacрта. Rezultat je polovina plašta manjeg valjka (druga polovina je simetrična).

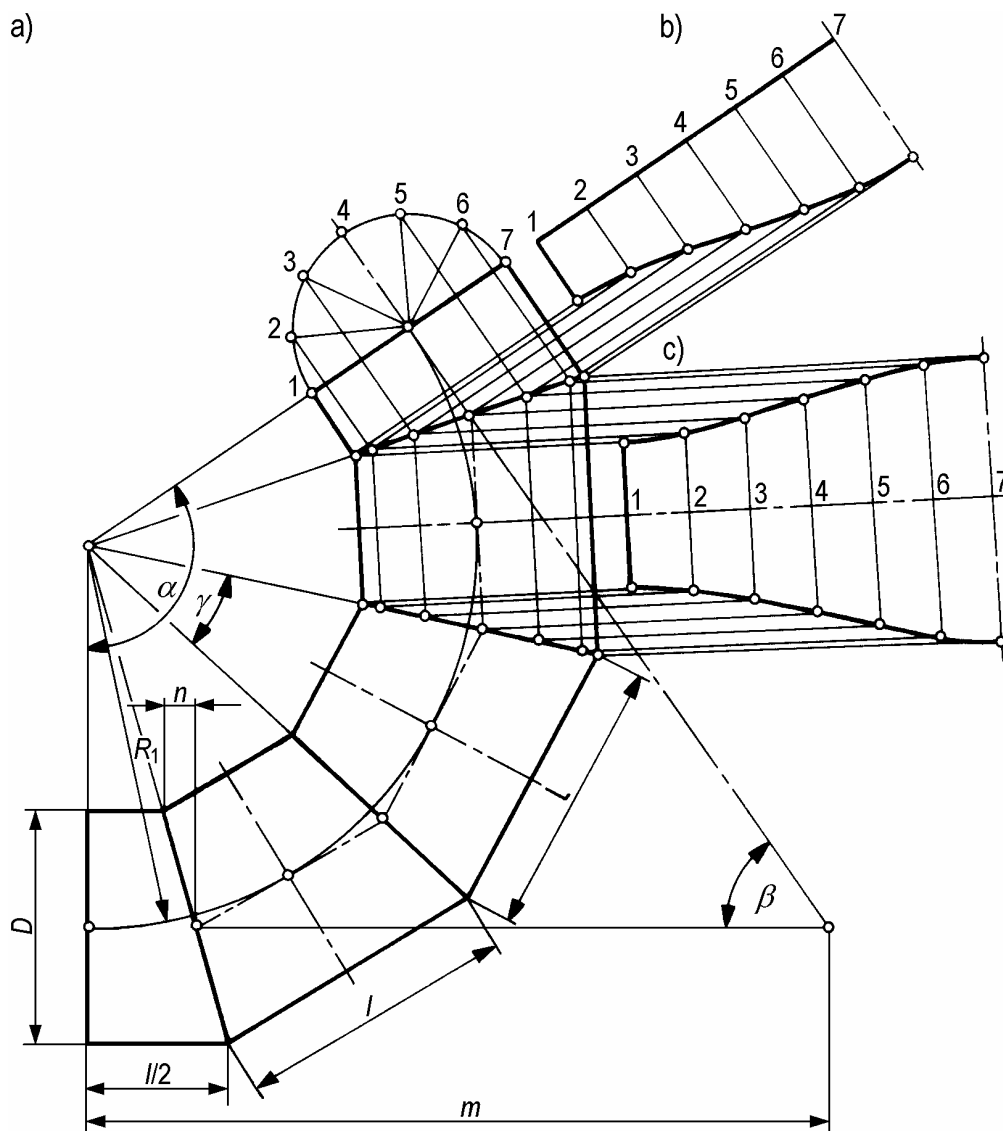
Prodor u plaštu većeg valjka ima širinu jednaku promjeru manjeg valjka, a visinu \overline{AG} . Kroz točku D u nacrtu povuče se okomica na os rotacije koja na izvodnicama većeg valjka određuje karakteristične točke (nisu označene). Na mjerni pravac kroz točku D (slika 6.190.b) iz tlocrta se prenesu udaljenosti (od okomice na os rotacije kroz točku D) do točaka A, B, C, D itd. i tako odrede točke krivulje prodora u pravoj veličini (na slici 6.190.b prikazana je polovina simetrične krivulje prodora).



Slika 6.191. Razvijanje plašta rotacijskih valjaka različitih promjera s mimosmjernim osima rotacije

Primjer razvijanja plašta uspravnog i vodoravnog rotacijskog valjka, koji

imaju različite promjere i mimosmjerne osi rotacije, prikazan je na slici 6.191.b i c. Ovakav se slučaj često susreće kod npr. cijevi cijevnih račvi izrađenih od lima. Plaštev i krivulja prodora u plaštu valjka većeg promjera dobiveni su postupkom projiciranja i nanošenja odgovarajućih duljina na način već opisan u prethodnim primjerima.



Slika 6.192. Razvijanje plašta krajnjih i srednjih segmenata cijevnog koljena izrađenog od lima

U praksi je često potrebno izraditi cijevna koljena za različite kutove. Uvijek se nastoji da se pojedini segmenti koljena što više približe obliku kružnice kako bi otpori strujanja medija kroz koljeno bili što manji. Uobičajeno je da se uz promjer cijevi D zada kut α i srednji polumjer zakrivljenja R_1 (slika 6.192.a). Iz središta zakrivljenja može se opisati kružni luk polumjera R_1 , koji predstavlja idealnu središnjicu koljena. Ovakvo koljeno u praksi bi se teško izradilo od lima, pa se stoga sastavlja od kraćih valjaka čije su središnjice tangente na kružni luk. Najpodesnije je da se krajnji valjci uzmu kao polovine srednjih valjaka. Prema

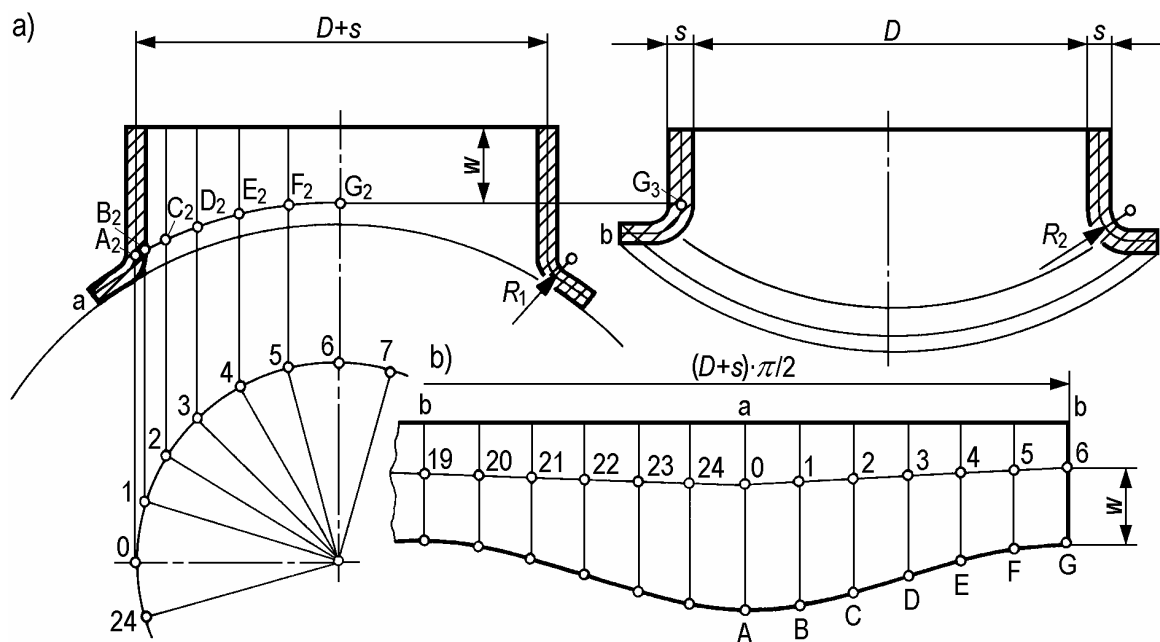
tome kut (odnosno luk) treba podijeliti na parni broj jednakih dijelova, a zatim razviti plašt jednog od dva jednaka krajnja segmenta (slika 6.192.b), pa plašt jednog od više jednakih srednjih segmenata koljena (slika 6.192.c).

Postupak razvijanja plašteva vrlo je jednostavan: pomoćna kružnica promjera D podijeli se na određeni broj jednakih dijelova, koji se razvijeni prenose na pravac (luk $12 = \overline{12}$ itd.). Tako se dobije rektificirani opseg kružnice $D \cdot \pi$. Prenošanjem ili projiciranjem odgovarajućih dijelova dobije se plašt pojedinih segmenata koljena.

U slučaju velikih promjera cijevi D i malih kutova α , srednji polumjer zakrivljenja R_1 postaje vrlo velik, pa posve grafička metoda ne daje dovoljno točne rezultate. Stoga je potrebno stanovite izmjere izračunati (slika 6.192.a):

polumjer zakrivljenja $R_1 = m \cdot \tan \alpha/2 = m \cdot \tan \beta/2$, gdje se m očita na crtežu,

- kut pojedinih segmenata $\gamma = \frac{\alpha}{2z-2}$, gdje je z broj segmenata,
- duljina krajnjih segmenata $\frac{l}{2} = R_1 \cdot \tan \frac{\alpha}{2z-2}$, a duljina srednjih segmenata je l i
- skraćenje, odnosno produljenje $n = \frac{D}{2} \cdot \tan \frac{\alpha}{2z-2}$.



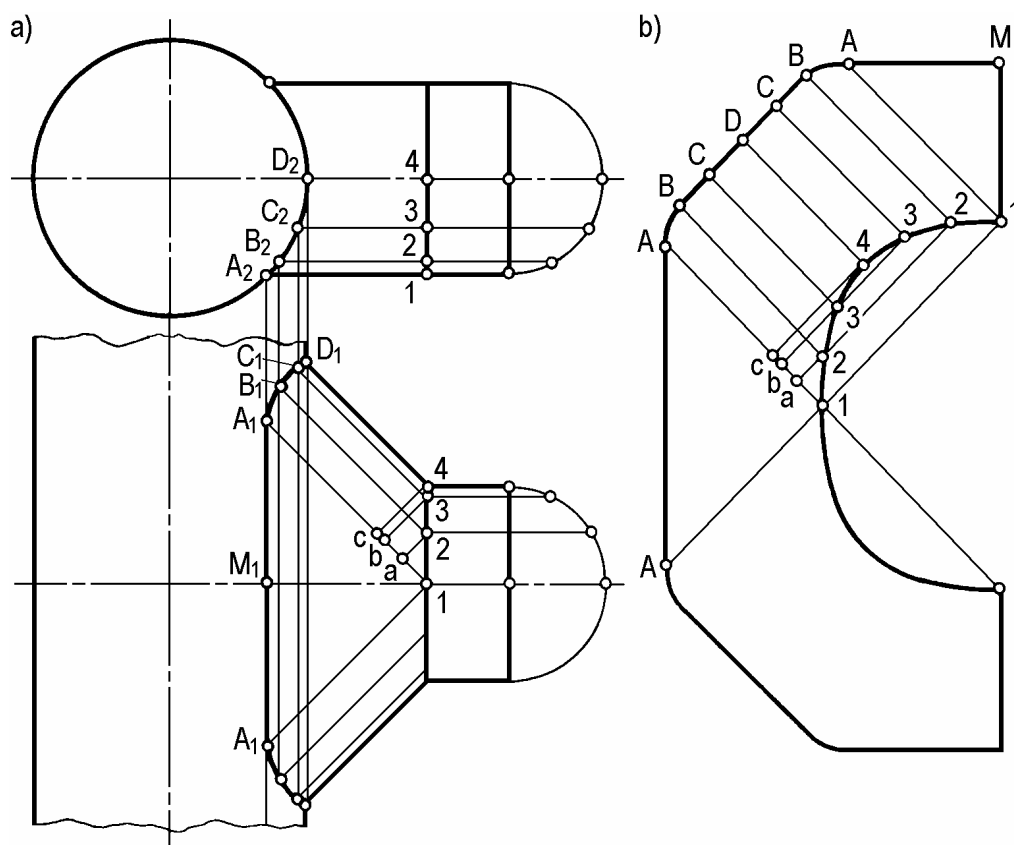
Slika 6.193. Razvijanje plašta parnog doma na parnom kotlu

Prirub kojim se parni dom pričvršćuje na parni kotao, u razvijenom stanju nema po duljini na svakom mjestu jednaku širinu jer polumjeri zakrivljenja R_1 i R_2 nisu jednaki (slika 6.193.). Na slici 6.193.b prikazano je razvijanje priruba i to samo četvrtina opsega s obzirom na to da su ostale tri četvrtine jednake. Pri konstruiranju se koristi neutralno područje savijanja, pa promjer kružnice za konstrukciju iznosi $D+s$. Ova se kružnica podijeli na npr. 24 jednaka dijela koji se

projiciraju u nacrt na pomoćnu kružnicu koja prolazi početkom zakrivljenja promjera R_1 . Točka G je približno u početku zakrivljenja polumjera R_2 .

Kružnica se razvija u pravac (duljine jednake opsegu kružnice) na koji se prenose razvijene duljine lukova 01, 12, 23 itd. Razvijena duljina luka aA iz nacrtu odgovara duljini $\overline{a0}$ na slici 6.193.b, a duljina luka bG iz bokocrtu duljini $\overline{b6}$ na istoj slici. Na okomice u točkama 0, 1, 2, 3 itd. prenose se odgovarajuće visine iz nacrtu. Tako se odrede točke A, B, C itd., odnosno mreža parnog doma.

U slučaju da se želi ublažiti prijelaz cijevnog ogranka okomitog na glavnu cijev, umeće se međudijel kao što to prikazuje slika 6.194.a. Radi razvijanja plašta ovog međudijela, opseg ogranka podijeli se na jednake dijelove i povuku se paralele u nacrtu i tlocrtu. Zatim se iz nacrtu projiciraju isti dijelovi u tlocrt, čime su određene točke A, B, C i D. Povlačenjem okomice iz točaka 2, 3 i 4 u tlocrtu na spojnicu $\overline{1A}$ određuju se točke a, b i c.



Slika 6.194. Razvijanje plašta međudijela za blaži prijelaz cijevnog ogranka na glavnu cijev

Za konstrukciju plašta povuče se pravac na koji se iz tlocrta prenese udaljenost \overline{AA} , a iz ovih točaka s polumjerom $\overline{1A}$ iz tlocrta šestarom odredi točka 1. Ova točka spaja se s objema točkama A. Zatim se na spojnicu $\overline{1A}$ iz tlocrta prenese udaljenosti $\overline{1a}$, $\overline{1b}$ i $\overline{1c}$ i u tako dobivenim točkama povuku okomice na $\overline{1A}$. Otvorom šestara jednakom veličini $\overline{12}$ (iz tlocrta) iz točke 1 opiše se luk do presjeka s okomicom iz točke a i tako odredi točka 2. Postupak se ponovi iz 2 do

presjeka okomice iz b, odnosno iz 3 do presjeka okomice iz c itd., sve dok se ponovno ne dođe do točke 1. Nakon toga se iz tako dobivenih točaka 2, 3, 4 prenesu iz tlocrta udaljenosti $\overline{2B}$, $\overline{3C}$, $\overline{4D}$ i odrede točke B, C, D. Spajanjem donjih i gornjih točaka (slika 6.194.b) odrede se granične linije razvijenog lima. Iz posljednje točke 1 opiše se luk polumjera $\overline{1M}$ iz tlocrta, a iz točke A luk polumjera \overline{MA} iz tlocrta. Sjecište ova dva luka određuje krajnju točku M.

U nekim slučajevima potrebno je izraditi cijevne prijelaze koji u naravi stoje u kosom položaju. Iz projekcija na slici 6.195. nije vidljiva prava veličina međucijevi, dok su međusobno paralelni ogranci paralelni s nacrtom i tlocrtnom ravninom. Prava veličina kose međucijevi određuje se svođenjem zadatka na poznati postupak, koji omogućava da se za ovakav položaj prodor valjaka projicira u duljinu, a pojedine točke odrede jednostavnim projiciranjem. Potrebno je dakle cijevni vod (prikazan na slici 6.195. u tri projekcije: N - nacrtu, T - tlocrtu i B - bokocrtu) prevaliti oko središnjice O_2 u bokocrtu (B), a zatim na okomice u O_1 i O_3 prenijeti udaljenosti od horizontale u tlocrtu (T) do O_1 i O_3 u nacrtu (N). Iz tako dobivenog stranocrta cijevnog voda može se doći do plašta ako se kružnica ogranka (slika 6.195.c) i međucijevi (slika 6.195.b) podijeli na stanoviti broj jednakih dijelova (npr. 12). Kroz numerirane dijelove povuku se izvodnice, zatim se razvije opseg kružnice prenošenjem razvijenih dijelova kružnice i u dobivenim točkama povuku okomice. Projiciranjem pojedinih točaka na odgovarajuće okomice dobiju se točke plašta (slike 6.195.b i 6.195.c).

Razvijanje stožastih tijela provodi se na drukčiji način od razvijanja valjkastih i prizmatičnih tijela, što se moglo uočiti i kod primjera na slikama od 6.178. do 6.183. Dakle, kod ovih tijela najčešće se kružnica razdjeli na stanoviti broj jednakih dijelova koji se projiciraju na promjer, a zatim se kroz dobivene točke povlače izvodnice. Prava veličina izvodnica određuje se tako da se one zakrenu do položaja paralelnog s jednom od ravnina crtanja i projiciraju u drugu ravninu. Često se dijelovi projiciraju na krajnju izvodnicu jer je ona paralelna s ravninom crtanja, pa se s nje može očitati prava veličina.

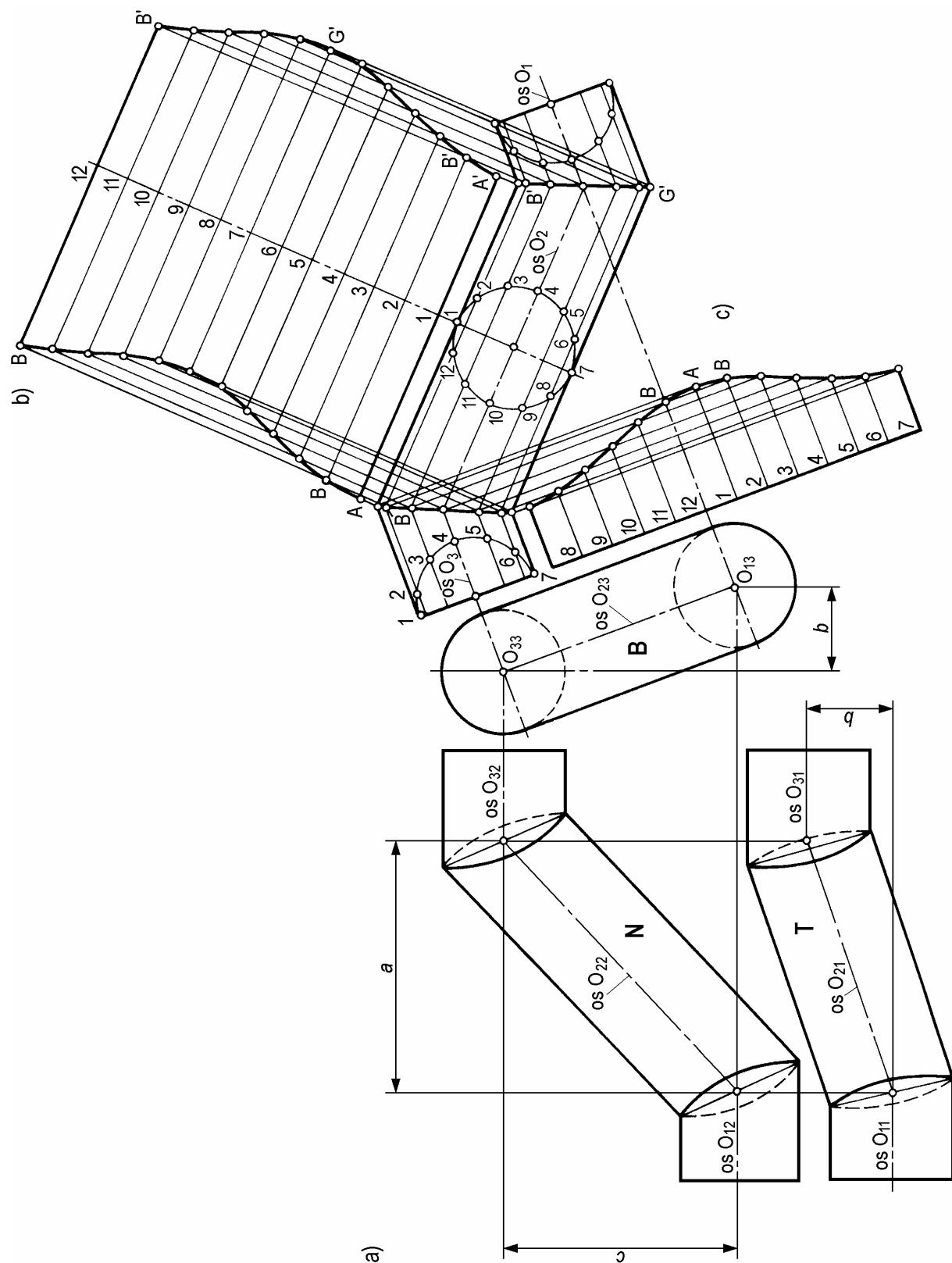
Za razvijanje plašta potrebno je nanijeti opseg kružnice ili dijelove podjele na lukove opisane iz vrha stožastog tijela, zatim povući izvodnice i na njih prenijeti prave veličine.

Najjednostavnije stožastog tijelo je npr. krnji stožac na slici 6.196.a. Plašt krnjeg stošca dobije se pomoću dva isječka kružnica koje imaju polumjere R_U i R_A jednake duljini izvodnica, a duljine lukova jednake opsegu kružnih osnovica $L = 2 \cdot R_U \cdot \pi$, odnosno $L_1 = 2 \cdot R_A \cdot \pi$ (slika 6.196.b).

Veličina polumjera R_U vrlo se često odredi iz omjera

$$m : R_U = e : R, \text{ odnosno } R_U = \frac{m \cdot R}{e}$$

$$\text{gdje je } m = \sqrt{e^2 + H^2}.$$



Slika 6.195. Razvijanje plašta ogranka i međucijevi kod kosog cijevnog prijelaza

Iz polumjera R_U i opsega donje osnovice L može se odrediti kut α

$$\alpha = \frac{L}{2 \cdot R_U \cdot \pi / 360^\circ} = \frac{180^\circ \cdot L}{R_U \cdot \pi} = \frac{180^\circ \cdot 2 \cdot R \cdot \pi}{R_U \cdot \pi} = 360^\circ \cdot \frac{R}{R_U} = 360^\circ \cdot \frac{e}{m}$$

i duljina luka $\alpha = \text{arc } \alpha$. Također vrijedi

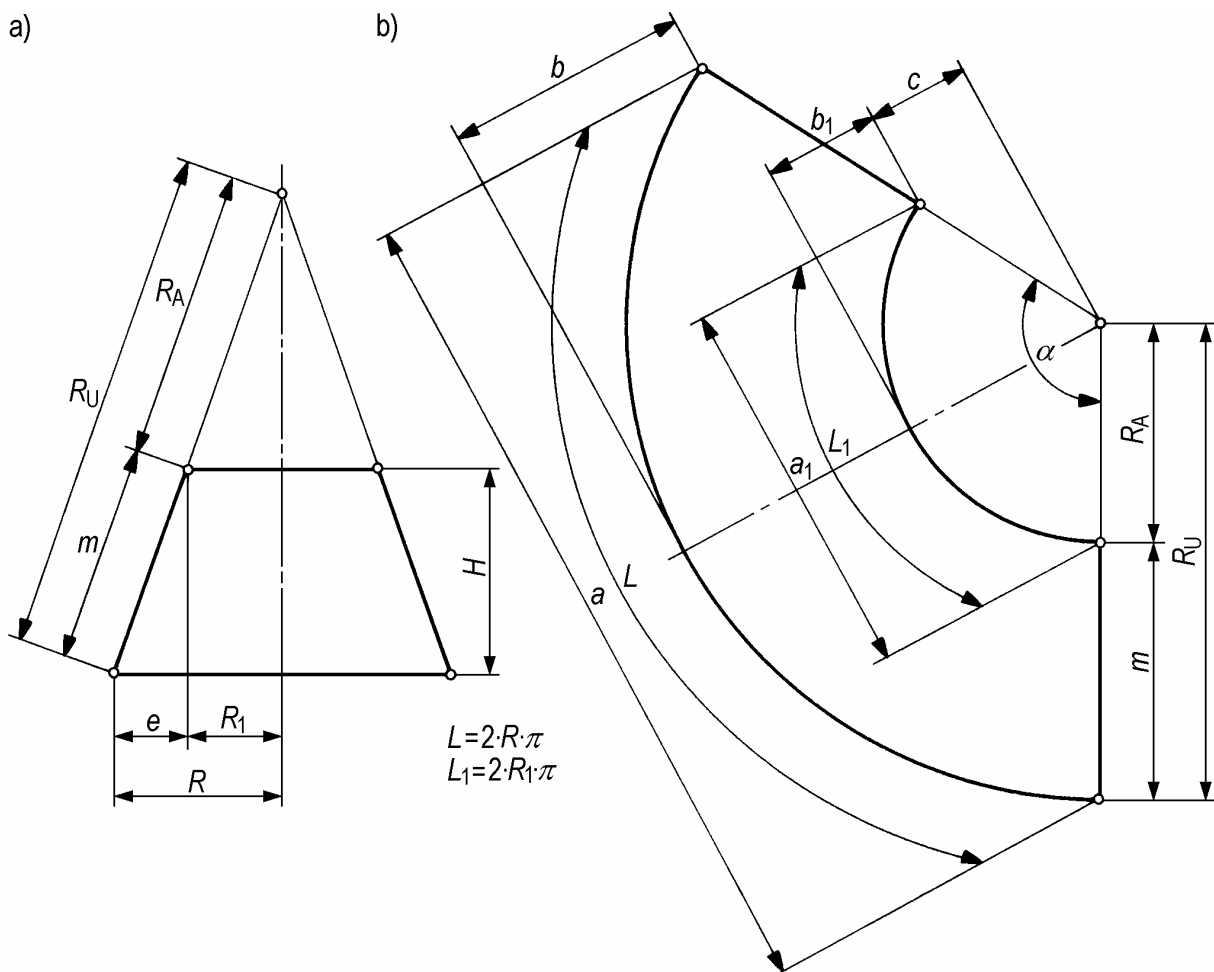
$$a = 2 \cdot R_U \cdot \sin \alpha/2,$$

$$a_1 = 2 \cdot R_A \cdot \sin \alpha/2,$$

$$b = R_U - R_U \cdot \cos \alpha/2 = R_U \cdot (1 - \cos \alpha/2),$$

$$b_1 = R_A - R_A \cdot \cos \alpha/2 = R_A \cdot (1 - \cos \alpha/2),$$

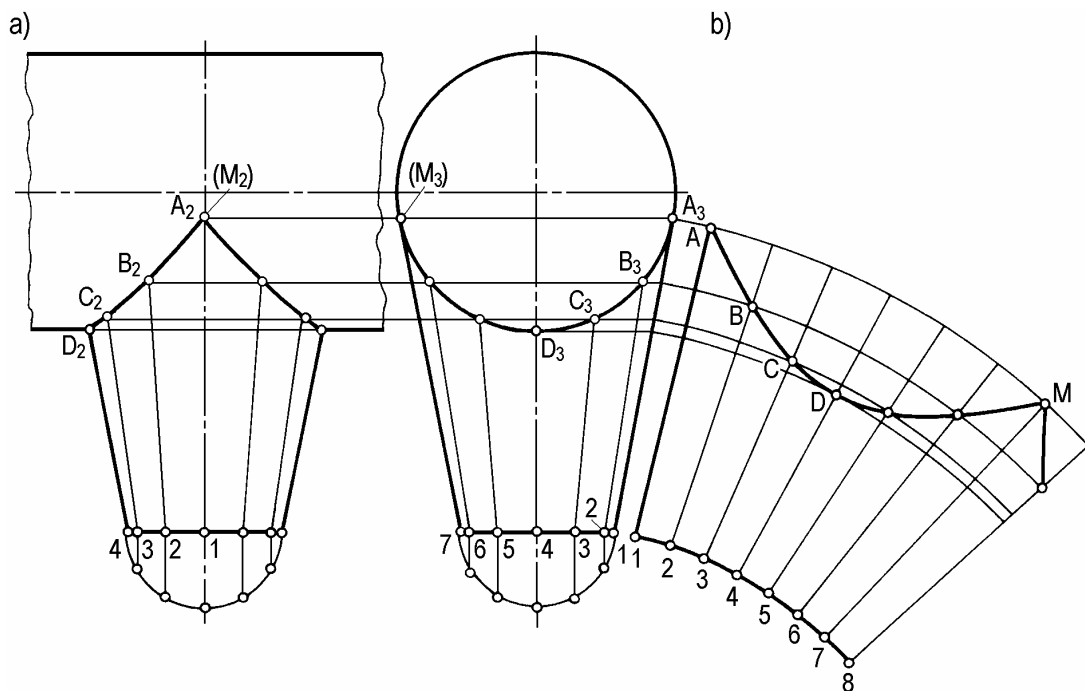
$$a : a_1 = R_U : R_A = b : b_1 = L : L_1 = R : R_1.$$



Slika 6.196. Plašt krnjeg stošca

U slučaju da se krnji stožac nastavlja na valjak kao ogranak na slici 6.196.a, prodor i plašt mogu se odrediti tako da se prvo pomoćne kružnice podijele na stanoviti broj jednakih dijelova. Iz točaka podjele povlače se okomice na osnovicu, a zatim izvodnice. Nakon toga se točke na valjku projiciraju do krajnje izvodnice i u nacrt. Na koncu se iz vrha opišu lukovi na koje se prenose razvijeni dijelovi

kružnice, ucrtaju izvodnice i lukovima prenesu prave veličine izvodnica stožastog ogranka (slika 6.197.b).



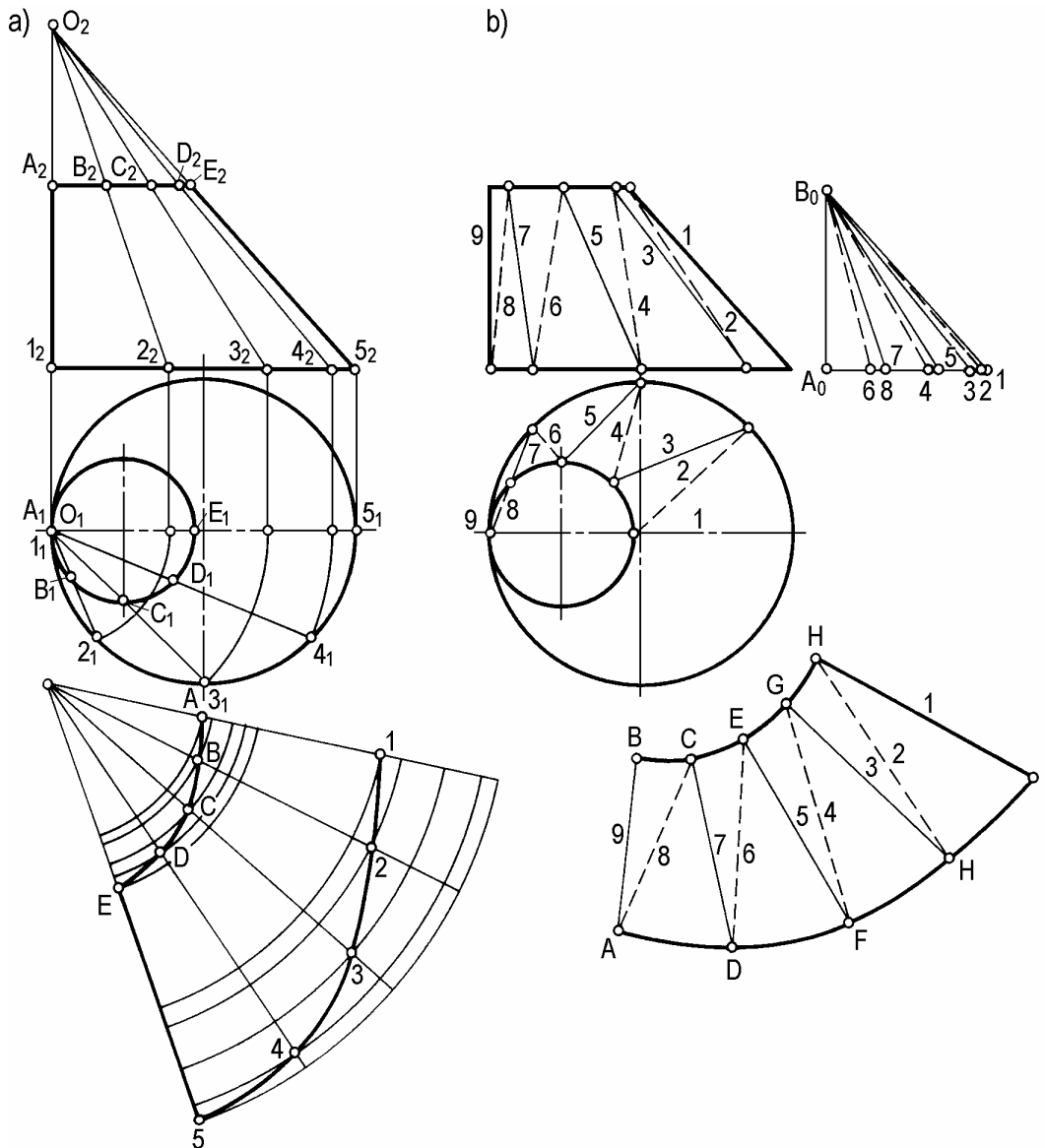
Slika 6.197. Razvijanje plašta uspravnog ogranka u obliku krnjeg stošca koji prodire u valjak

Plašt kosog krnjeg stošca, prikazanog na slici 6.198., može se konstruirati na dva načina.

Prvi način je da se veća osnovica podijeli na jednake dijelove koji se spoje s točkom 1 (slika 6.198.a). Spojnice sijeku manju osnovicu u točkama A, ..., E. S ovim točkama istodobno je izvedena i podjela manje osnovice. Iz točke 1 (središta) opišu se lukovi kroz točke 2, 3 i 4 do presjeka s horizontalnom središnjicom u tlocrtu, a zatim se dobivene točke projiciraju u nacrt. Projekcije točaka 1_2 , ..., 5_2 (vidi nacrt) spoje se s vrhom stošca O_2 . Spojnice na mjestu presjeka s gornjom (manjom) osnovicom određuju točke A_2 , ..., E_2 . Ako se sada iz središta O_2 (donja slika) opišu lukovi polumjera $\overline{O_2 1_2}$, ..., $\overline{O_2 5_2}$ (odnosno $\overline{O_2 A_2}$, ..., $\overline{O_2 E_2}$) uzetih iz nacrt, a na luk polumjera $\overline{O_2 5_2}$ prenese razvijena podjela (lukovi) $5_1 4_1$, ..., $2_1 1_1$ (uzeta iz tlocrta), međusobnim presjekom odredit će se točke od 1 do 5 (odnosno od A do E) plašta. Slika prikazuje konstrukciju samo polovine plašta.

Drugi način je tzv. postupak s trokutima. Plašt koji treba razviti razdijeli se na uske trokute, a slaganjem pravih veličina ovih trokuta (jedne pored druge) dobije se razvijeni plašt. Na taj se način mogu riješiti i najsloženiji zadaci. Obje osnovice (kružnice) razdijele se na jednak broj jednakih dijelova (slika 6.198.b) koji se projiciraju u nacrt. Nakon toga se u nacrtu i tlocrtu izmjenično spoje točke podjele (spojnice su numerirane brojevima od 1 do 9). Prave veličine spojnica dobiju se tako da se na okomicu nanese iz nacrt duljina uspravne izvodnice stošca $\overline{A_0 B_0}$.

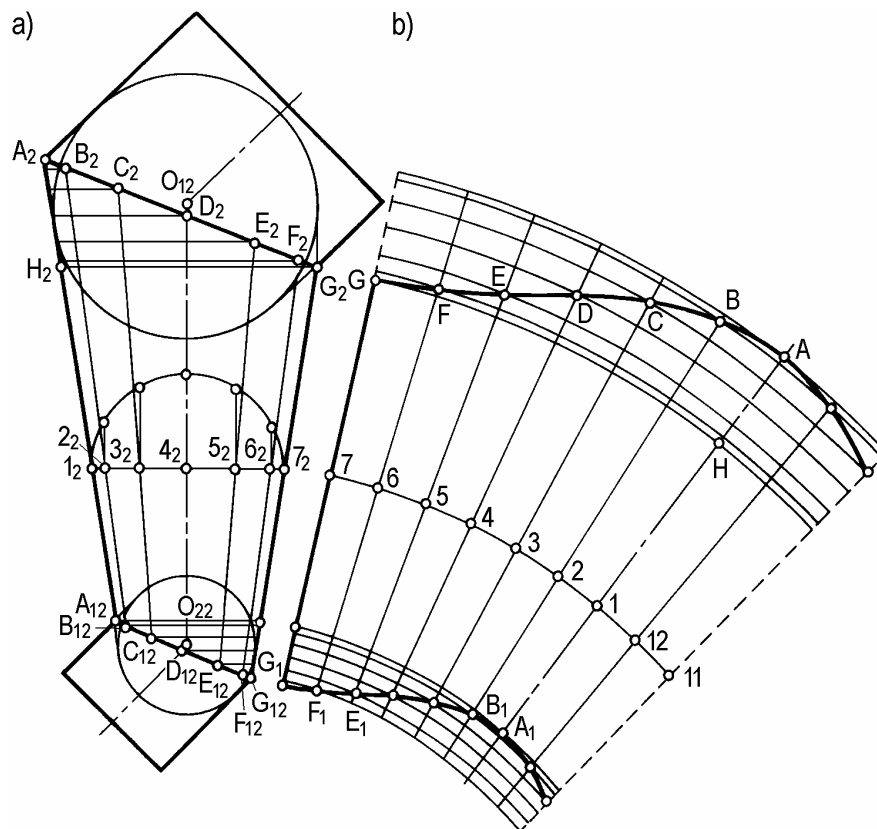
(slika 6.198.b - desno). U A_0 se postavi vodoravna okomica na koju se nanose duljine spojnice iz tlocrta. Spojnice tako dobivenih toćaka 1, ..., 6 s B_0 predstavljaju prave velićine spojnice iz nacrta i tlocrta.



Slika 6.198. Razvijanje plašta kosog krnjeg stošca

Za razvijanje plašta (slika 6.198.b - dolje) postavi se izvodnica 9, uzme se u šestar prava velićina spojnice 8 ($\overline{B_0 8}$) i iz toćke A opiše luk, a iz B opise luk s polumjerom jednakim razvijenoj podjeli manje kružnice. Sjecište lukova određuje toćku C. Zatim se u šestar uzima prava velićina spojnice 7 ($\overline{B_0 7}$) i postupak se ponavlja opisivanjem luka iz toćke C. Iz A se opiše luk polumjera jednakog razvijenoj podjeli veće kružnice. Sjecište lukova određuje toćku D. Postupnim načinom odrede se sve toćke plašta kosog krnjeg stošca. Slika prikazuje konstrukciju samo polovine plašta.

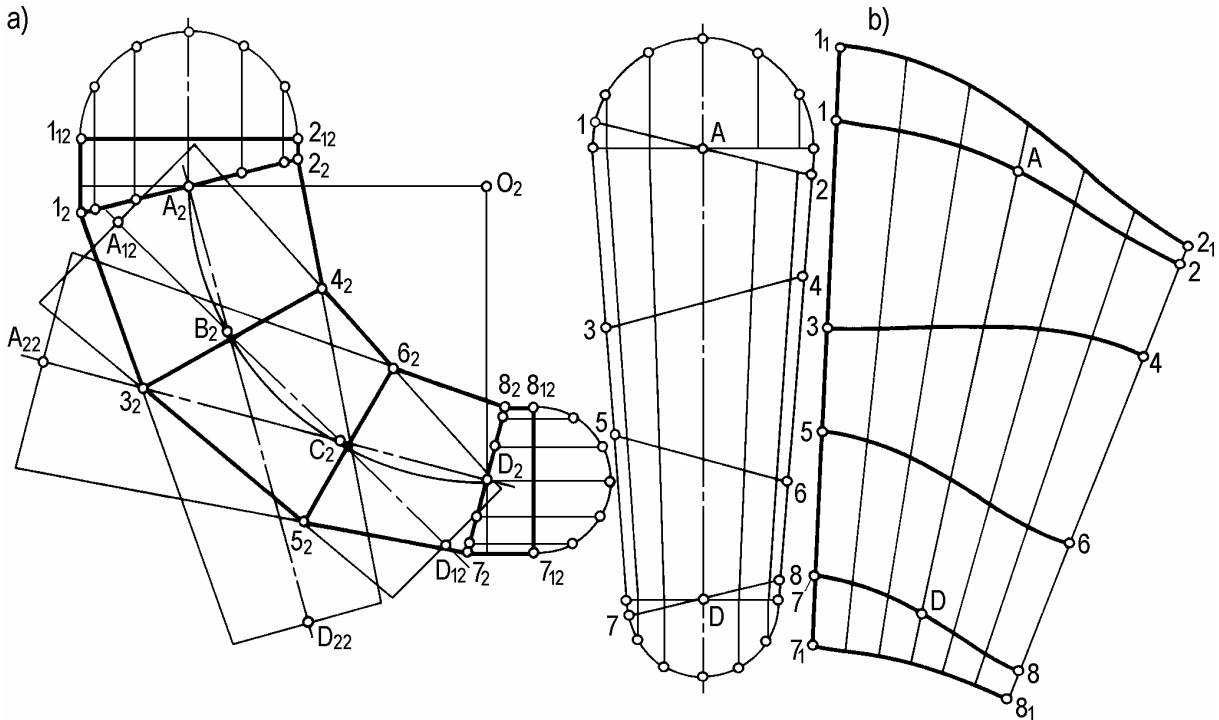
U slučaju potrebe spajanja dvaju paralelnih valjaka stožastim suženjem (slika 6.199.), definira se prvo kosi krnji stožac. Na središnjicama valjaka odaberu se krajnje točke O_{12} i O_{22} te opišu kružnice jednake presjecima valjaka. Tangente na ove kružnice određuju kosi krnji stožac koji se s valjcima prodire u elipsama koji se u ovom slučaju vide kao duljine $\overline{A_2G_2}$, odnosno $\overline{A_{12}G_{12}}$. Ako se krajnje izvodnice stošca sijeku na papiru na kojemu se crta, plašt se može razviti na način prema slici 6.181. U konkretnom slučaju na središnjici se odabere bilo koja točka, opiše se polukružnica koja se razdjeli na jednake dijelove, a ovi se zatim projiciraju na promjer. Kroz dobivene točke povlače se izvodnice koje na gornjem i donjem presjeku određuju točke A, ..., G, odnosno A_1 , ..., G_1 . Ako sjecište izvodnica nije na papiru na kojemu se crta, povlače se s obje strane pomoćne okomice na središnjicu, čime se zadani stožac pretvara u uspravni i lako razvija. Na odgovarajuće izvodnice se zatim dodaju razlike od uspravnog do kosog stošca, npr. na izvodnici 1 dolje ništa, a gore razlika \overline{HA} .



Slika 6.199. Razvijanje plašta stožastog suženja

U slučaju potrebe izvođenja koničnog cijevnog koljena moraju se odabrati takvi odnosi da razvijanje plašta bude lako i da svaki segment ima jednako suženje (slika 6.200.). Obično se zadaje luk koljena A_2D_2 sa središtem zakrivljenja u točki O_2 . Koljeno je na oba kraja produljeno kratkim nastavcima u obliku valjaka. Za primjer, na slici 6.200.a koljeno se sastoji od tri segmenta koji su dobiveni razdiobom luka A_2D_2 na tri jednaka dijela (luk A_2B_2 = luk B_2C_2 = luk C_2D_2).

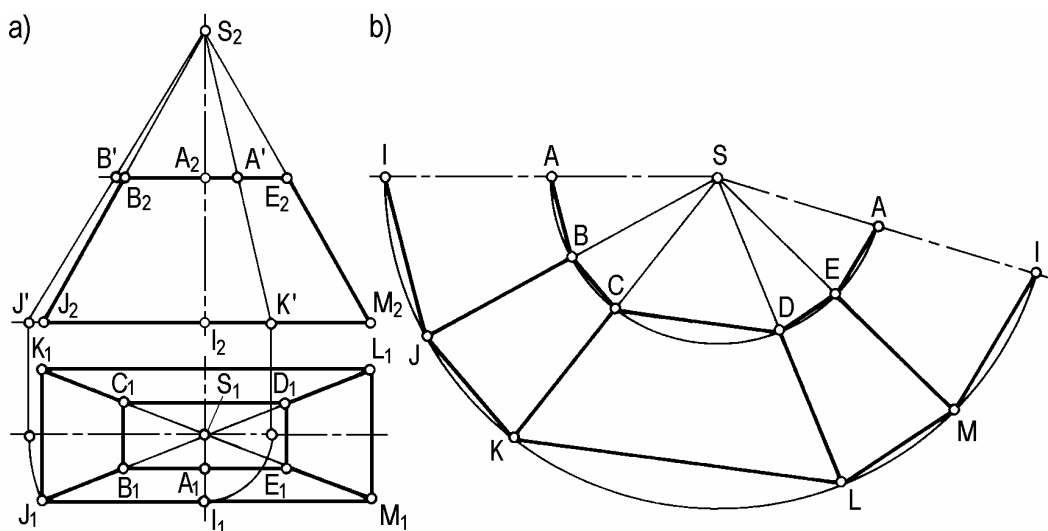
Spojnicama $\overline{A_2B_2}$, $\overline{B_2C_2}$ i $\overline{C_2D_2}$ povuku se središnjice i na njih se prenesu tetive lukova tako da se dobije isti krnji stožac u tri različita položaja s jednakim visinama $\overline{A_2G_{22}} = \overline{A_{12}D_{12}} = \overline{A_{22}D_2}$.



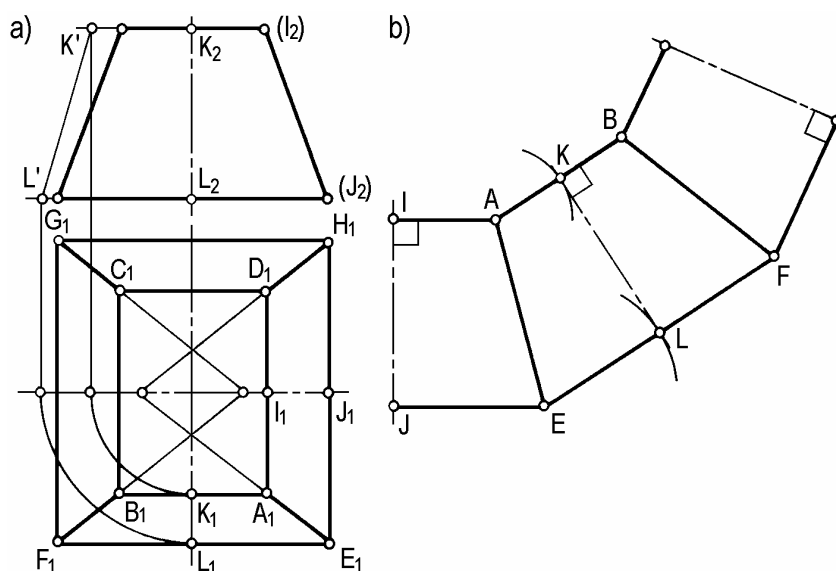
Slika 6.200. Razvijanje plašta stožastog suženja

Srednji presjeci ovih stožaca su elipse, koje se u nacrtu projiciraju kao duljine $\overline{3_24_2}$ i $\overline{5_26_2}$ i ne prolaze točkama B_2 i C_2 . Krajnji presjeci (duljine $\overline{1_22_2}$ i $\overline{7_28_2}$ u nacrtu) prolaze točkama A_2 i D_2 . Ako se sada segmenti sastave prema pomoćnoj slici, dobit će se samo jedan stožac koji se razvija na već poznat način. Mala odstupanja od uspravnog stošca razviju se kao da je stožac uspravan (tanko nacrtano), a onda se provede korektura dodavanjem ili oduzimanjem razlike od duljina izvodnica uspravnog stošca. U razvijenoj mreži (slika 6.200.b) nacrtani su presjeci $\overline{3_24_2}$ i $\overline{5_26_2}$. S obzirom na to da su visine valjaka male, one se mogu očitati iz nacрта i jednostavno dodati na mrežu. Ako su visine valjaka velike, potrebno je valjke razvijati na način ranije opisan za valjke.

Na slici 6.201.a prikazana je uspravna krnja piramida s osnovicom u obliku pravokutnika. Bridovi piramide jednako su dugi pa će se u razvijenoj mreži naći na koncentričnim kružnim lukovima opisanim pravom duljinom brida iz središta S (slika 6.201.b). Prava duljina odredi se tako da se brid $\overline{B_1J_1}$ zarotira u ravninu crtanja, projiciranjem dobivenih točaka u nacrt do J' i B' . Duljine $\overline{S_{12}J'}$ i $\overline{S_{12}B'}$ predstavljaju polumjere zakrivljenja koncentričnih lukova na koje se prenesu duljine stranica iz tlocrta i tako dobije razvijeni plašt.



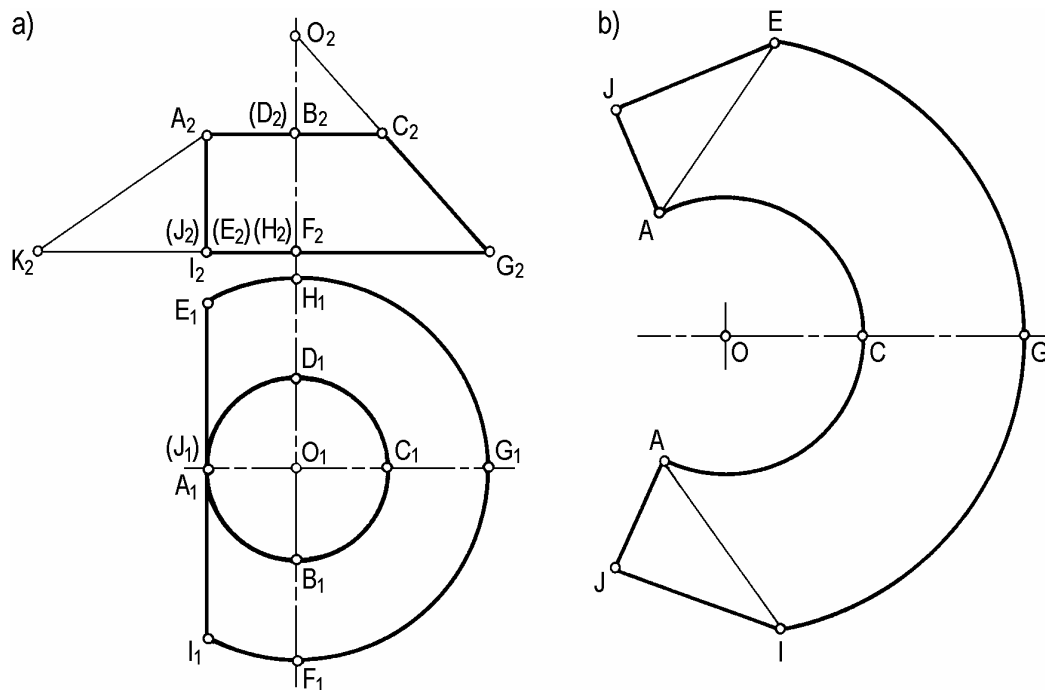
Slika 6.201. Razvijanje plašta krnje piramide s osnovicom u obliku pravokutnika



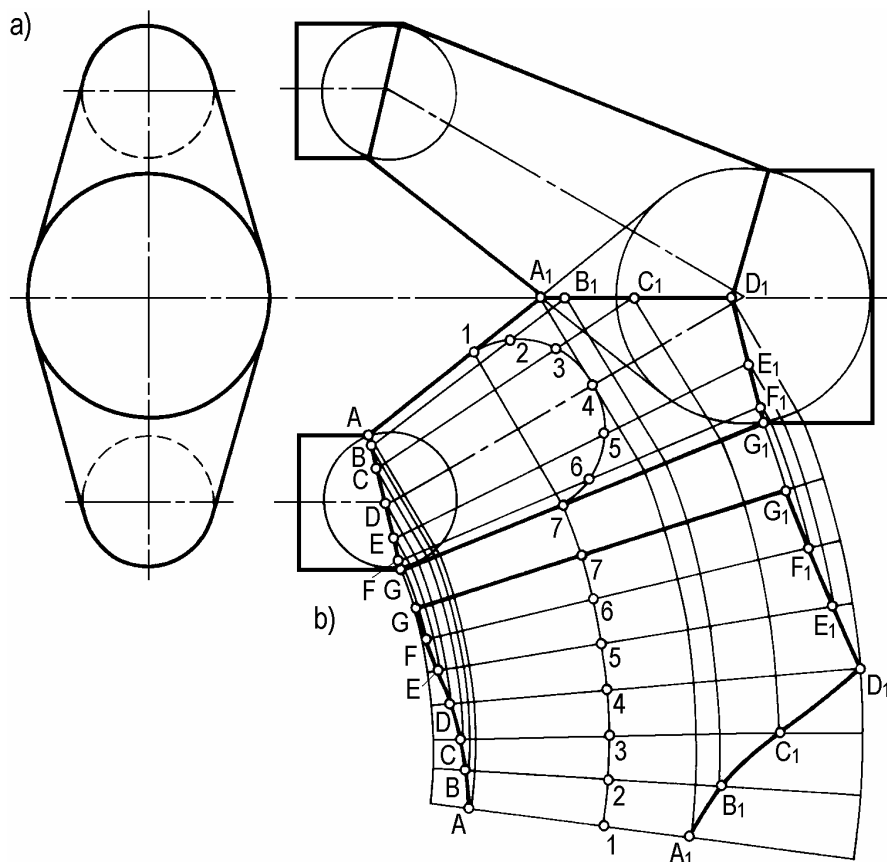
Slika 6.202. Razvijanje plašta uspravne četverostrane krnje piramide

Ako se stranice uspravne četverostrane krnje piramide ne sijeku u jednoj točki (vidi tlocrt na slici 6.202.a), potrebno je odrediti prave veličine središnjica stranica. Središnjica $\overline{I_1J_1}$ već je paralelna s nacrtom ravninom, pa se prava veličina ($\overline{I_{12}J_{12}}$) može odrediti jednostavnim projiciranjem. Središnjicu $\overline{K_1L_1}$ potrebno je prvo zaokrenuti do položaja paralelnog s nacrtom ravninom, a zatim projicirati u nacrt. Spojnica $\overline{K'L'}$ predstavlja pravu veličinu središnjice $\overline{K_1L_1}$. Za razvijanje plašta nanese se duljina $\overline{IJ} = \overline{I_{12}J_{12}}$, zatim se povuku okomice i na njih prenesu duljine \overline{IA} iz I i \overline{JE} iz J (slika 6.202.b). Nakon toga se konstruira središnjica stranice ABFE, koja je tangenta na kružne lukove opisane iz točke A (polumjera \overline{AK}) i E (polumjera \overline{EL}). Gornja (\overline{AB}) i donja (\overline{FE}) stranica okomita je na središnjicu. Postupak se dalje ponavlja za stranicu BCGF. Rezultat je polovina

razvijenog plašta ovakve krnje piramide.



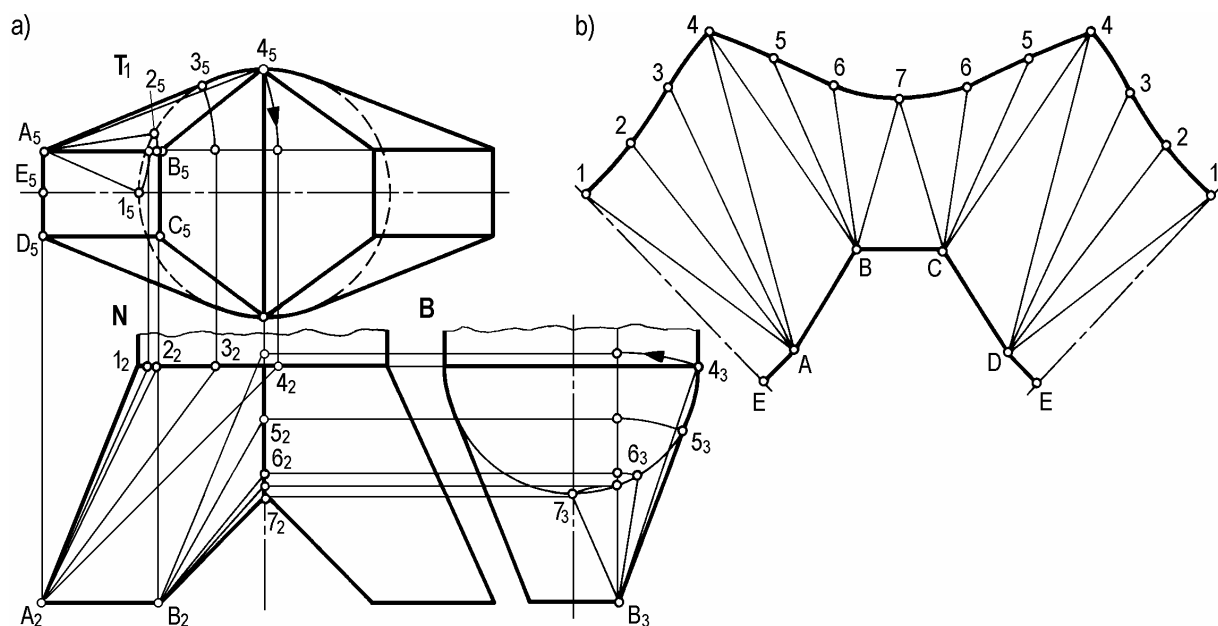
Slika 6.203. Razvijanje plašta jednostrano odrezanog krnjeg stošca



Slika 6.204. Razvijanje plašta rašlje kružnog presjeka

U slučaju jednostrano odrezanog krnjeg stošca (slika 6.203.) potrebno je prvo produljiti izvodnicu $\overline{C_{12}G_{12}}$ u nacrtu i odrediti vrh stošca O_{12} . Zatim treba produljiti $\overline{I_{12}G_{12}}$ u nacrtu i iz tlocrta prenijeti duljinu $\overline{I_1J_1}$ ulijevo od točke I_{12} , te dobivenu točku K_2 spojiti s točkom A_2 . Za dobivanje plašta treba razviti gornju kružnicu u luk polumjera $\overline{O_2C_2}$, a donju u luk polumjera $\overline{O_2G_2}$ (polumjeri se uzimaju iz nacрта). Od točke C plašta (slika 6.203.b) razvije se na obje strane po polovina kružnice i tako odrede točke A. Nakon toga se u šestar uzme duljina $\overline{A_2K_2}$ iz nacрта i opisivanjem lukova iz točaka A odrede točke E i I. Ako se s polumjerom $\overline{A_2I_2}$ (uzetim iz nacрта) opišu lukovi iz točaka A, a s polumjerom $\overline{I_1J_1}$ (uzetim iz tlocrta) iz točaka E i I, dobiju se točke J plašta. Spajanjem ovih točaka dobije se tražena mreža.

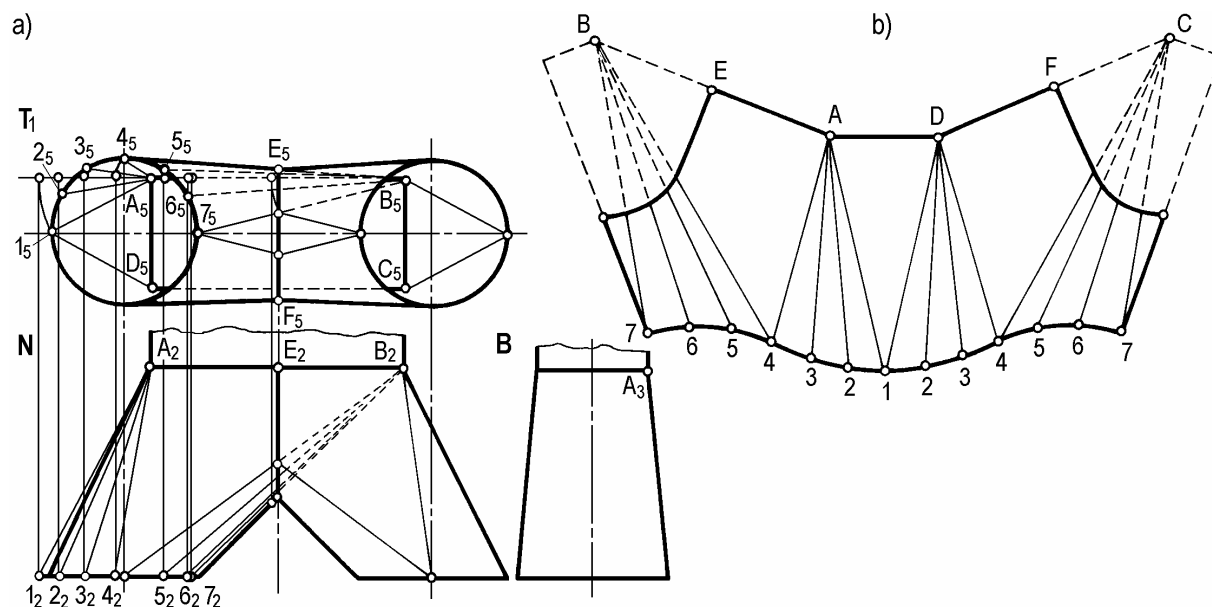
Rašlje, tj. dva jednaka stožasta ogranka koja izlaze iz jednog valjka, prikazuje slika 6.204.a. Stožasti su prijelazi koso odrezani i međusobno potpuno identični, pa se zadatak rješava jednako kao i primjer na slici 6.199. Na slici 6.204.b nacrtana je samo polovina plašta jednog ogranka.



Slika 6.205. Razvijanje plašta rašlje s prijelazom iz kružnog u četvrtast presjek

Na slici 6.205.a prikazane su rašlje s prijelazom iz kružnog u četvrtast presjek. Mreža se razvija postupkom pomoću trokuta. U gornjem tlocrtu (T_1) i bokocrtu (B) razdjeli se četvrtina kružnice na jednake dijelove $1_5, \dots, 4_5$, odnosno $4_3, \dots, 7_3$. Zatim se ove točke spoje s točkom A, odnosno A_1, B_1 i B_2 . Radi određivanja prave veličine ovih spojnica potrebno ih je zakrenuti oko točke A_5 , odnosno B_3 , do položaja paralelnog s nacrtom ravninom crtanja, a zatim ih projicirati u nacrt (N). Tako se dobiju prave veličine od kojih se gradi plašt na slici 6.205.b. Točka 7 plašta odredit će se tako da se nanese duljina \overline{BC} lukom $\overline{B_27_2}$ iz nacрта. Iz točke 7

se zatim nanesu dijelovi kružnice $\overline{5_3 6_3}$, ..., a iz B i C prave veličine spojnice. Tako se dobiju ostale točke plašta. Točke A i D odredit će se sjecištem lukova polumjera $\overline{4_2 A_2}$ iz nacrt i $\overline{A_5 B_5}$ iz gornjeg tlocrta. Dalje se postupak ponavlja. Slika 6.205.b prikazuje samo polovinu plašta.



Slika 6.206. Razvijanje plašta rašlje s prijelazom iz pravokutnog u kružni presjek

Slične rašlje prikazane su i na slici 6.206.a, koje se razlikuju samo po prijelazu iz pravokutnog u kružni presjek (dakle obrnuto od rašlje na slici 6.206.a). Postupak je potpuno identičan opisanom i vidljiv je iz slike. Spojnice točke A_5 s diobenim točkama 1_5 , ..., 4_5 i točke B_5 s diobenim točkama 4_5 , ..., 7_5 zakreću se do horizontalne ravnine. Zatim se projiciraju u nacrt, a spajanjem s točkama A_2 i B_2 odrede se prave veličine spojnice. Pomoću ovih pravih veličina dobiva se tražena mreža (slika 6.206.b). Spoj oba ogranka omeđen je vertikalom u nacrtu (N), a na plaštu se odredi prenošenjem dijelova do vertikalne. Slika 6.206.b prikazuje samo polovinu plašta.

7. Posebnosti u tehničkom crtanju

Particularities in Technical Drawing

Kao što je to već naglašeno u poglavlju 2. ovog udžbenika, tehničko crtanje nije slobodno crtanje ili risanje, ono je utemeljeno na pravilima nacrtne geometrije i usvojenim međunarodnim normama i propisima kako bi bilo čitljivo i razumljivo u svim dijelovima svijeta. U klasičnom tehničkom crtanju koristi se različiti pribor i različita pomagala, odgovarajući formati papira za crtanje, crteži su organizirani na odgovarajući način i obvezatno su opremljeni zaglavljima i sastavnicama, koriste se odgovarajuća mjerila, odgovarajuće širine i vrste crta te odgovarajuće pismo (tzv. tehničko pismo) za opis tehničkih crteža.

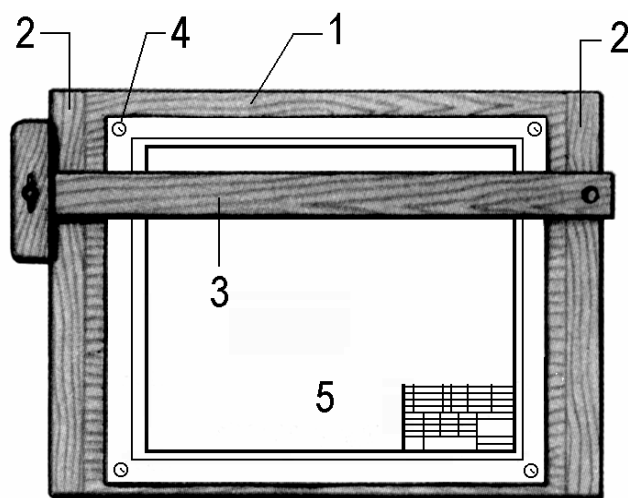
7.1. Pribor i pomagala za klasično tehničko crtanje

Kakav će se pribor i pomagala za klasično tehničko crtanje koristiti ovisi o tome hoće li se izrađivati prostoručne proporcionalne skice (vidi poglavlje 8.), crteži u mjerilu za daljnju reprodukciju ili crteži podržani računalom (vidi poglavlje 10.). Za ručnu izradu crteža u mjerilu, olovkom ili tušem na hamer papiru, ozalid papiru, paus papiru ili nekoj drugoj kvaliteti papira svih formata, koristi se sljedeći pribor i pomagala za tehničko crtanje [5, 6, 7, 10, 12]:

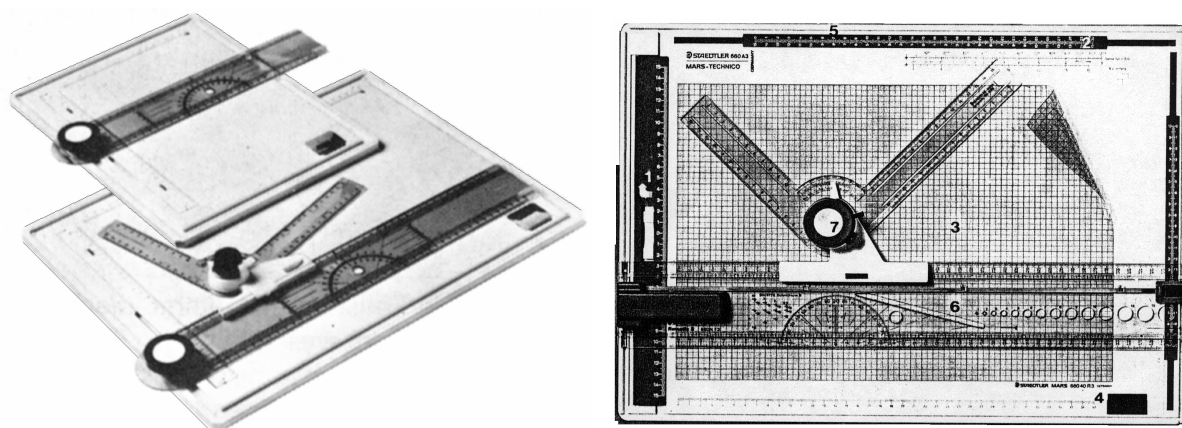
- crtaće daske ili ploče - manjih izmjera za crtanje na stolu (za formate crteža od A4 do A1) ili većih izmjera (za formate veće od A1) s odgovarajućim mehanizmima za točno crtanje;
- ravnalo (priložnik)(kao zaseban dio ili u sklopu crtaće daske),
- pravokutni trokuti veličine kateta do 400 mm, drveni ili izrađeni od umjetnog materijala (plastični)(uobičajeno par trokuta - jedan s kutovima $45^\circ \times 45^\circ \times 90^\circ$, a drugi s kutovima $30^\circ \times 60^\circ \times 90^\circ$);
- šestar s odgovarajućim priborom,
- mjerilo (razmjernik),
- tehničke olovke s ulošcima (minama) različite širine,
- šiljilo za olovke i brusni papir,
- tuš,
- crtaći papir,
- čavlići ili ljepljiva traka,
- pera za pisanje i pera za crtanje različitih širina,
- gumice za brisanje,
- pribor za mjerenje (metar, pomično mjerilo i slično),
- šablone za pisanje i crtanje,
- krivuljari i kutomjeri,
- itd.

Crtaća daska služi kao podloga crtaćem papiru, a može biti izrađena od drva (slika 7.1.) ili od umjetnog materijala (slika 7.2.). Daska od drva ima radnu

površinu izrađenu od mekog drva i okvir izrađen od tvrdog drva (uglavnom od kuhane bukovine). Papir se pričvršćuje samo na mekanom dijelu daske. Zamazana daska može se čistiti staklenim papirom, s time da bočne stranice (na koje naliježe T - ravnalo) ostaju netaknute. Crtači se papir reže na posebnim podlogama, a samo iznimno na tvrdom dijelu daske. T – ravnalo ili priložnik naliježe samo uz lijevu i donju stranu crtaće daske. Crtaća daska izrađena od umjetnog materijala oblikovana je na način podesan za crtanje, a u sklopu njezine konstrukcije dana su rješenja za učvršćivanje papira i vođenje priložnika. Na ravnoj podlozi daska mora ležati cijelom svojom površinom. Iskrivljena daska nije podesna za rad. Crtaća daska od drva pohranjuje se u prostoru umjerene vlažnosti i temperature.



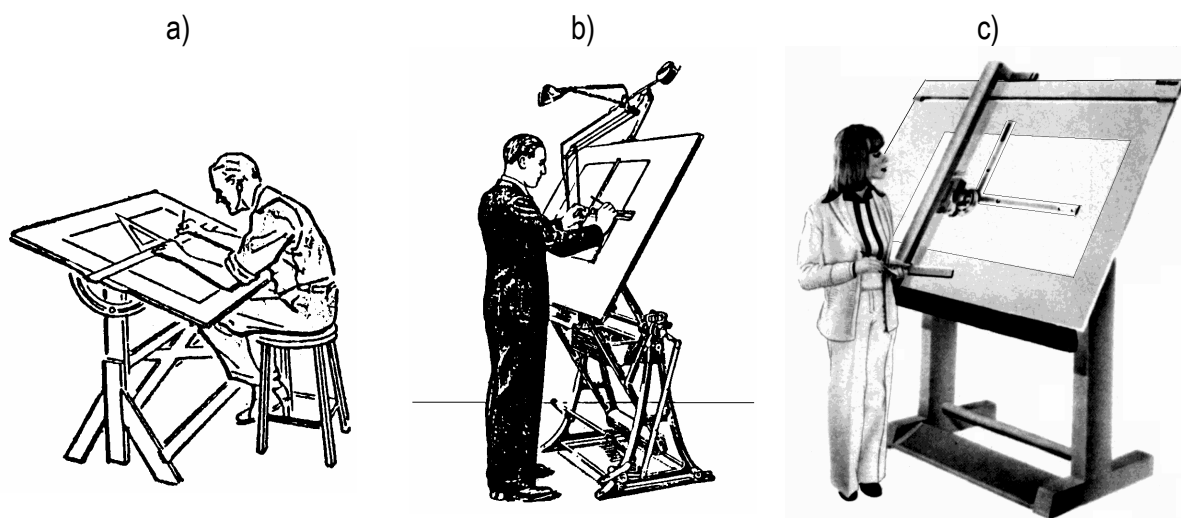
Slika 7.1. Jednostavna crtaća daska s priložnikom (T – ravnalom)
(1 – radna površina od mekog drva, 2 – okvir izrađen od tvrdog drva, 3 – priložnik, 4 – čavlić za pričvršćenje crtaćeg papira i 5 – crtaći papir)



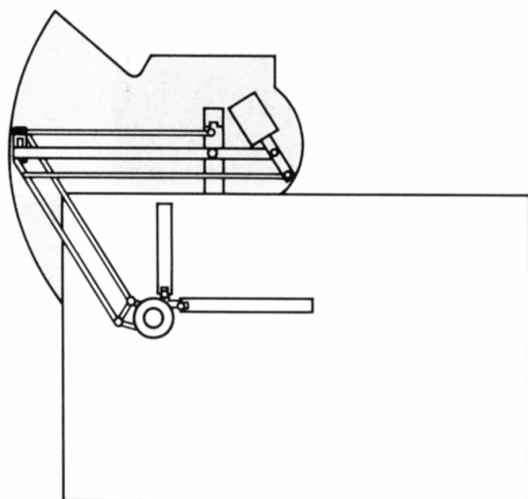
Slika 7.2. Crtaća daska izrađena od umjetnog materijala
s ravnalima i crtaćom zakretnom glavom

Crtaće daske, a posebice samostojeće crtaće daske u početku su bile jednostavne konstrukcije, koja je s vremenom postajala sve složenija s krajnjim ciljem da se postigne što veća točnost pri crtanju (slika 7.3.). Takve crtaće daske ili

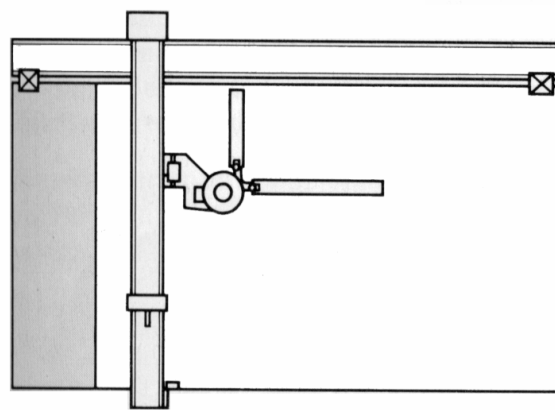
ploče opskrbljene su posebnim mehanizmima ili hidraulikom za podešavanje visine i nagiba radnog dijela te kočnicama za osiguranje postavljenog položaja (slika 7.3.). Pomicanje crtaće zakretne glave (slika 7.7.) u bilo koju točku na crtaćoj ploči omogućeno je paralelogramskim vođenjem (slika 7.4.) ili koordinatnim vođenjem (vodoravnim i uspravnim vodilicama) (slike 7.5. i 7.8.).



7.3. Crtaće su se daske od jednostavnih nagibnih stolova s vremenom razvile u suvremene samostojeće koordinatne crtaće daske (a – nagibna crtaća daska s priložnikom, b – samostojeća crtaća daska s paralelogramskim vođenjem i mehanizmom za podešavanje nagiba i visine, c – samostojeća crtaća daska s koordinatnim vođenjem)

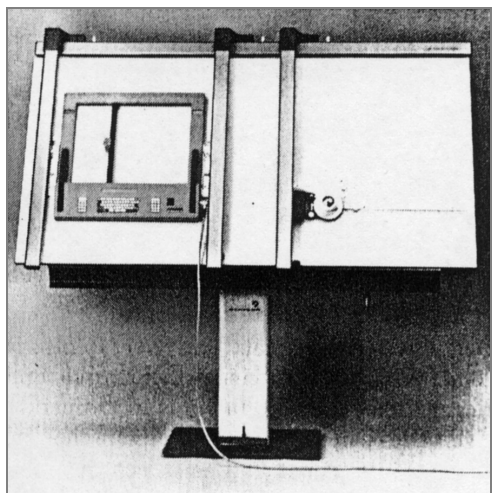


Slika 7.4. Crtaća daska s paralelogramskim vođenjem

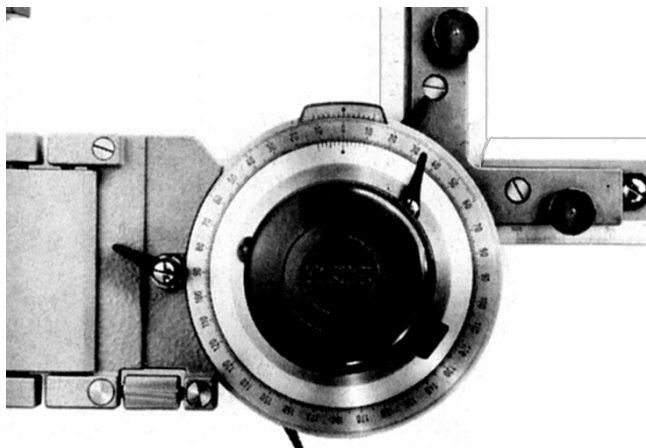


Slika 7.5. Crtaća daska s vodoravnom i okomitom vodilicom

Danas se u pojedinim konstrukcijskim i projektnim uredima mogu vidjeti i automatizirane crtaće ploče kod kojih se dio crtanja (npr. opis tehničkim pismom, ucrtavanje raznih simbola i sl.) može potpuno automatizirati i upravljati mini-računalom koje je u sklopu crtaće ploče (slika 7.6.).

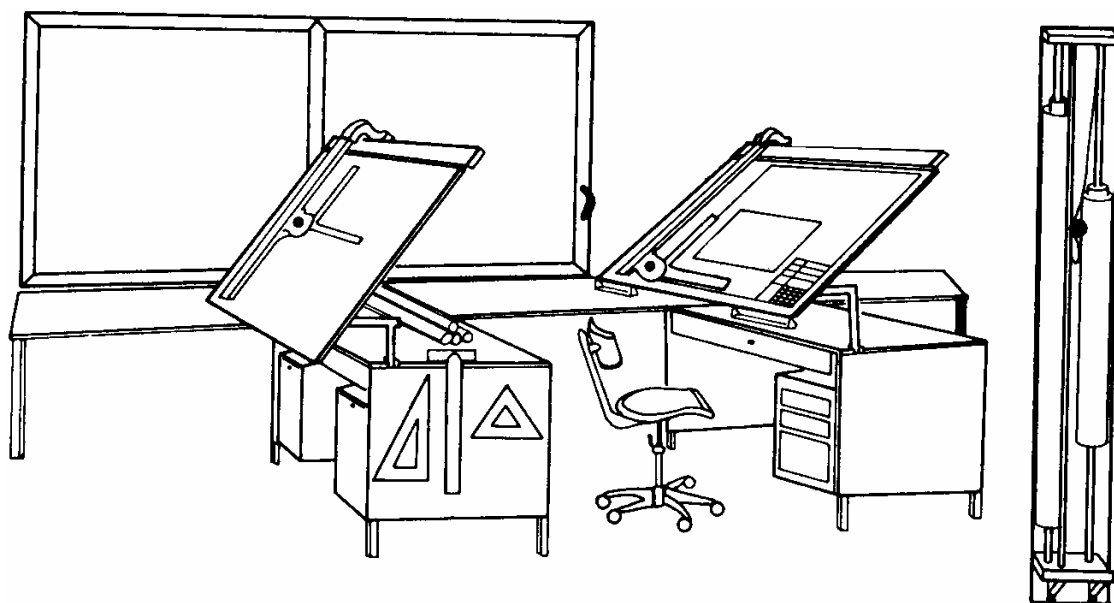


Slika 7.6. Crtaća ploča s djelomično automatiziranim aktivnostima pri tehničkom crtanju (lijevi dio ploče)



Slika 7.7. Crtaća glava s međusobno okomitim ravnalima i kočnicama

Crtaća glava s dva međusobno okomita ravnala može se zakretanjem postaviti u točan kut zahvaljujući mjernoj skali (slika 7.7.). Glava se može zakočiti u položajima koji su višekratnici kuta od 15° . Crtaće glave mogu biti opskrbljene i dodatkom koji omogućava podešavanje razmaka šrafure pri iscrtavanju. Ravnala koja se koriste u sklopu crtaće glave su izmjenjiva i mogu imati vrlo različite mjerne skale (i po jedinicama i po mjerilu).



Slika 7.8. Prikaz dijela pribora koji se koristi za tehničko crtanje (crtiće daske, panoi za crteže, trokuti, priložnik, stalci za privremeno odlaganje crteža i sl.)

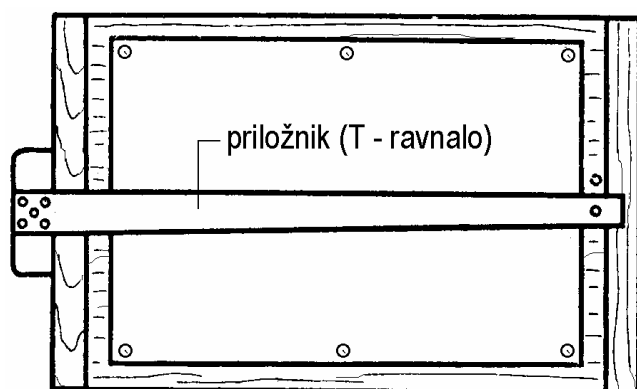
Radna mjesta tehničkih crtača mogu biti oblikovana i tako da su crtće daske ili ploče postavljene na radne stolove pomoću posebnih nosača (slika 7.8.). Važno je da su opskrbljena svim potrebnim priborom za tehničko crtanje (slika 7.9.) i

drugim pomagalicama (panoima za crteže, stalcima za privremeno odlaganje crteža, stolovima za rezanje itd.).

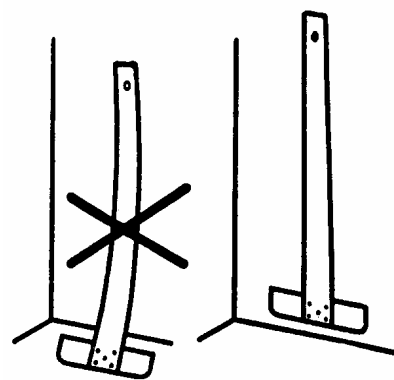


Slika 7.9. Dio pribora koji se koristi u tehničkom crtanju

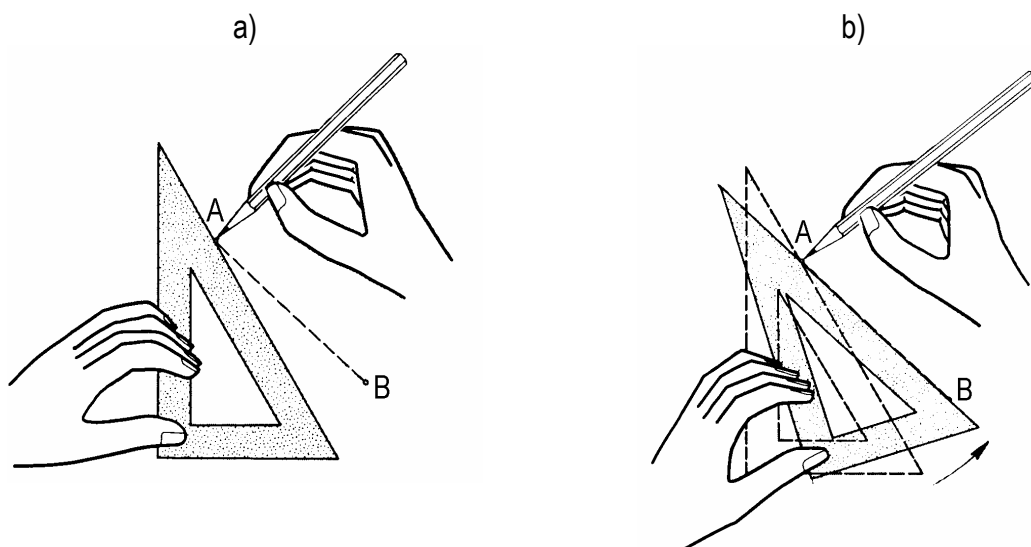
Priložnik (T – ravnalo) (slike 7.10., 7.1., 7.3.a i 7.8.) služi za povlačenje vodoravnih i okomitih crta te kao vodilica za trokute kada se uz pomoć njih povlače crte. Sastoji se od ravnala i glave koji su međusobno strogo okomiti, slijepljeni i osigurani od pomaka vijcima ili na drugi način. Glava priložnika naslanja se samo na bočnu lijevu ili donju stranu crtaće daske, a koristi se samo gornja strana ravnala, pa je treba čuvati od oštećenja. Priložnik i trokuti izrađuju se od drva, prozirnih i neprozirnih umjetnih materijala te od kovina (čelik, mjed i sl.). Priložnik i trokuti od kovina prljaju papir pa nisu podesni za crtanje na papiru. Prije uporabe priložnik treba očistiti od prašine, a ponekad i oprati krpicom natopljenom alkoholom ili sličnom tekućinom za čišćenje. Pri odlaganju priložnika treba paziti kako ga se i gdje postavlja (slike 7.8. i 7.11.).



Slika 7.10. Priložnik ili T - ravnalo

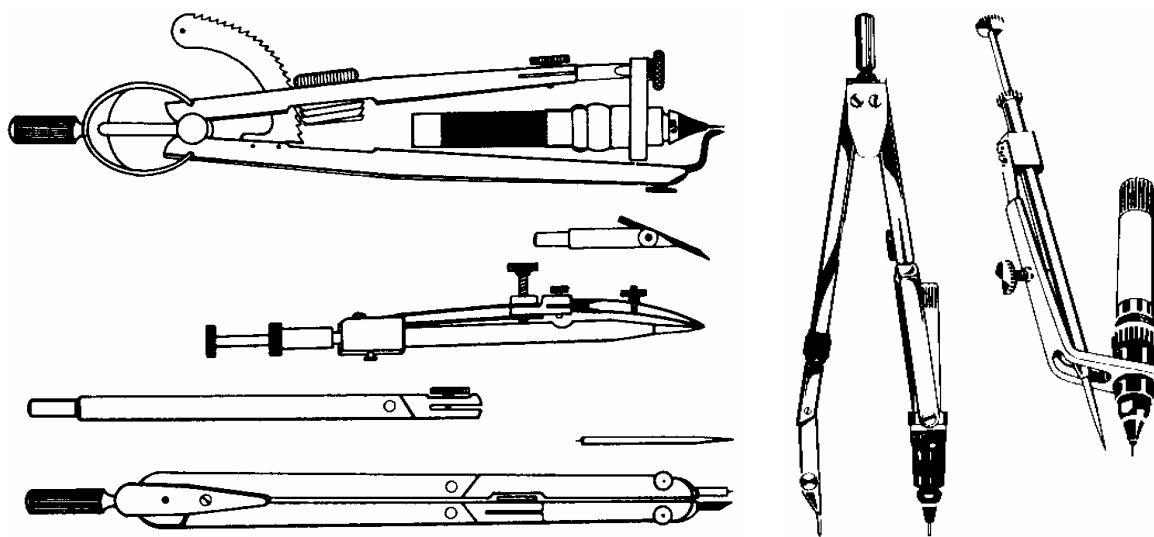


Slika 7.11. Odlaganje priložnika



Slika 7.12. Postupak crtanja ravne crte trokutom [10]

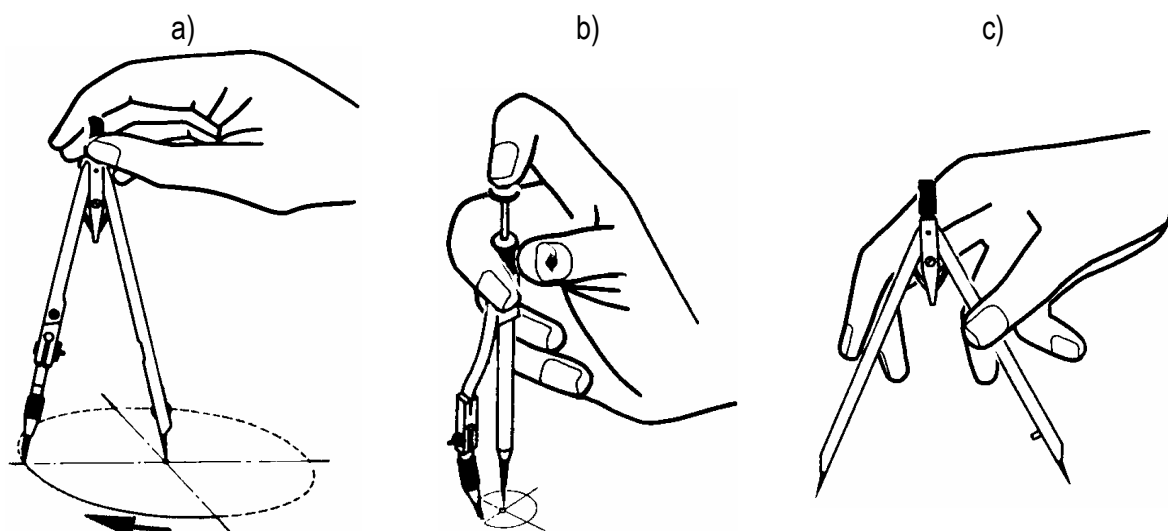
Trokuti služe za povlačenje crta okomitih na priložnik, vodeći ih po priložniku, i za povlačenje ostalih crta koristeći se dvama trokutima. Svi bridovi stranica trokuta koriste se za crtanje pa ih je potrebno čuvati od oštećenja. Materijal za izradu trokuta isti je kao i materijal priložnika pa se čiste na isti način. Za crtanje se koriste trokuti čije katete nisu dulje od 250 mm, a samo se ponekad koriste trokuti dužine kateta i do 450 mm. Crtanje trokutima treba uvježbati kako bi ih se pravilno koristilo u tehničkom crtanju (slika 7.12.).



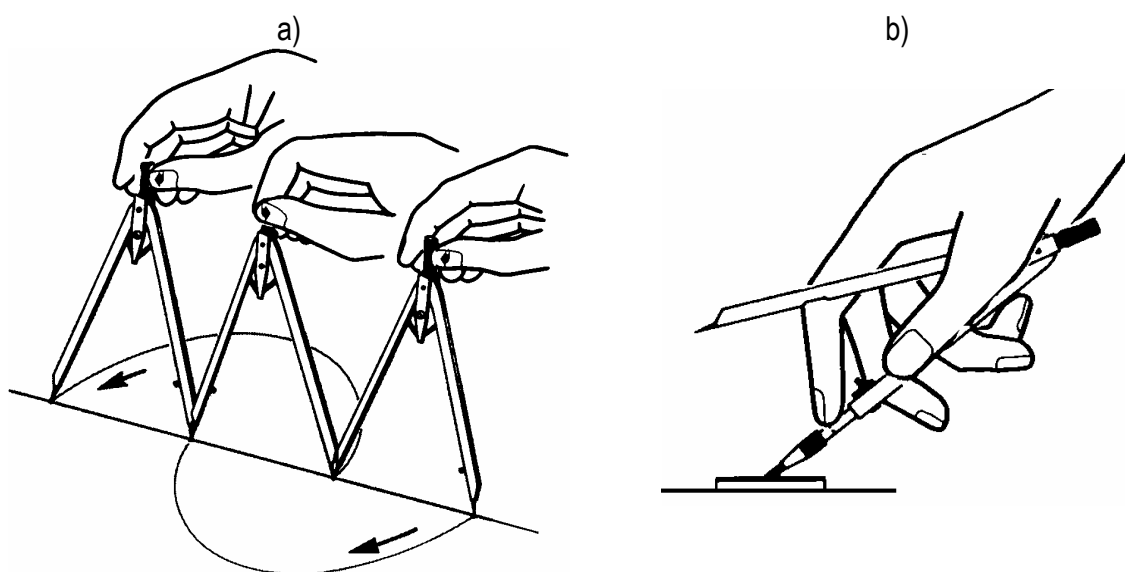
Slika 7.13. Šestari s različitim dodacima ovisno o tome koriste li se za prenošenje mjera, crtanje olovkom ili crtanje tušem

Šestar s odgovarajućim priborom u kompletu (slika 7.13.) služi za izvlačenje kružnica i lukova olovkom ili tušem i za prenošenje mjera. To je najskuplji, ali i najvažniji pribor tehničkog crtača. Postoje u vrlo različitim kvalitetama i s vrlo različitim brojem pribora. Bolji šestari izrađeni su od tvrdog čelika i imaju

zglobove s vodilicama, tako da se oba kraka pomiču skupa. Osnovu potrebnog kompleta šestara čine veliki i mali uložni šestar, ubodni šestar za prenošenje mjera, nul-šestar za polumjere manje od 5 mm, produžeci za veće kružnice, rezervni dijelovi i komplet mehanizma za učvršćivanje pera za tuš. Za crtanje olovkom u šestar se ulaže olovka ili uložak srednje tvrdoće (npr. HB ili sličan).



Slika 7.14. Postupci crtanja šestarom (a – obični šestar, b – nul-šestar, c – ubodni ili bodni šestar) [10]

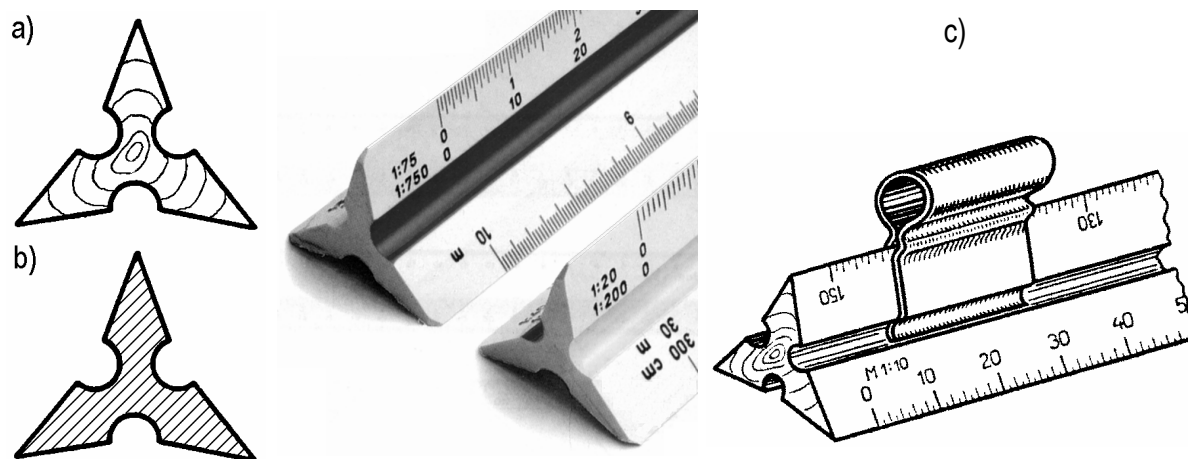


Slika 7.15. Postupak prenošenja jednake dužine pomoću ubodnog šestara (a) i postupak šiljenja grafitnog uložka [10]

Pri crtanju kružnica njezino se središte označava središnjicama ili dvjema međusobno okomitim i presječenim crticama (slika 7.14.a). Rukovanje nul-šestarom pri crtanju kružnica ili kružnih lukova polumjera manjeg od 5 mm prikazano je na slici 7.14.b. Ubodni ili bodni šestar koristi se za prenošenje mjera s ravnala, mjerila, trokuta ili drugog crteža na crtež koji se crta. Rukovanje ubodnim šestarom prikazano je na slici 7.14.c, a primjer prenošenja jednakih razmaka dan je

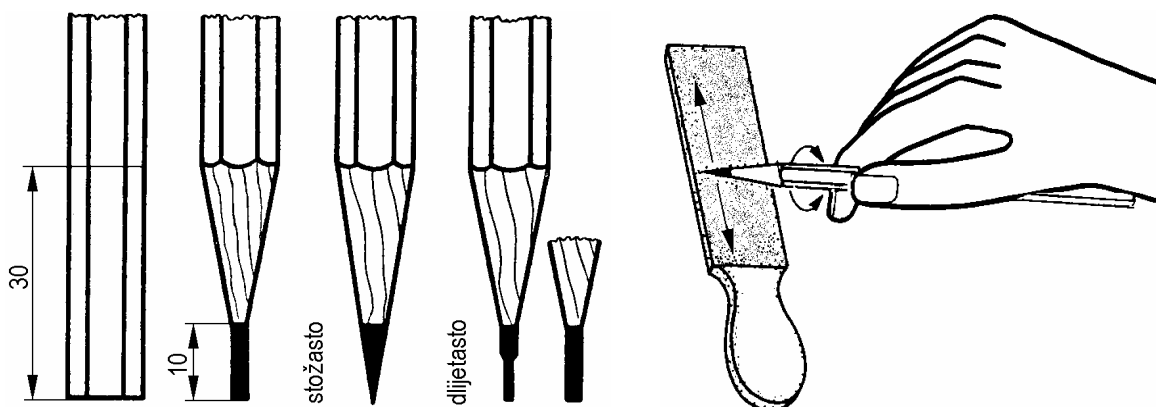
na slici 7.15.a. Šiljak šestara treba biti duži od grafitnog uloška (olovke) ili pera za izvlačenje u tušu za oko 1 mm.

Za šiljenje grafitnog uloška (mine) kod šestara koristi se brusni papir ili daščica s brusnim papirom, postupak treba izvoditi prema prikazu na slici 7.15.b.



Slika 7.16. Mjerila (razmjernici)

Mjerila (razmjernici) služe za nanošenje točnih mjera kod povećanja, umanjenja ili u naravnoj veličini. Pri crtanju s umanjenjem ili uvećanjem bez mjerila potrebno je svaku nanесenu mjeru izračunati. Mjerila se izrađuju od umjetnih materijala, a sve rjeđe od drva, drva s oblogom, celuloida i metala. Posebno su podesna mjerila poprečnog presjeka u obliku trokuta sa šest različitih mjernih skala (slika 7.16.). Najčešće su duljine 300 ili 500 mm. Praktično je limenim jahačem (slika 7.16.c) označiti upotrebljavanu skalu.



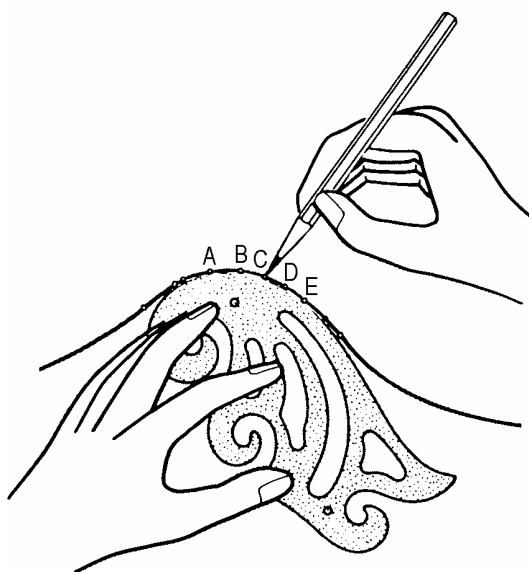
Slika 7.17. Pravilno zašiljene olovke i postupak šiljenja grafitnog vrha

Olovke (slika 7.17.) služe za povlačenje ravnih i zakrivljenih crta te u šestaru za kružnice i lukove. Primjena određene olovke ovisi o vrsti papira. Za crtanja na prozirnem papiru koriste se olovke iz skupine tvrdih olovaka (slovne oznake od H do 9H), a za crtanje na ostalim vrstama papira olovke iz skupine mekših olovaka (s oznakom HB, F ili od H do 6H). Prilikom izbora olovke za crtanje treba znati da

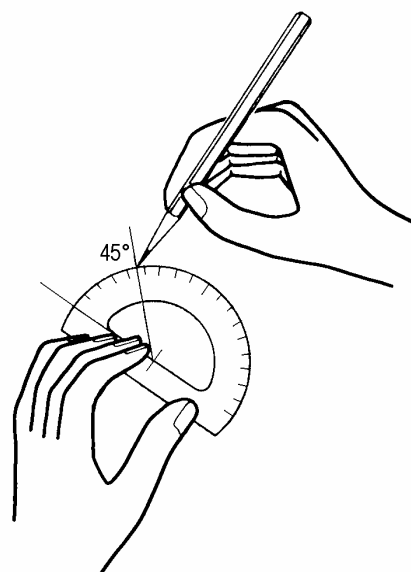
meke olovke dosta prljaju papir i pribor za crtanje. Suvremene grafitne olovke koje se koriste za tehničke grafike jesu tankocrte mehaničke olovke. Tankocrta olovka od 0,3 mm može se koristiti za konstrukcijske crte, a ona od 0,5 ili 0,7 mm za tamne ugladene crte. Tankocrte olovke ne zahtijevaju šiljilo, jer crte poprimaju širinu jednaku promjeru grafitnog uloška (slika 8.7.).

Tušem se izvlače crte kod važnijih i trajnijih crteža. Za izradu crteža trajnije kvalitete uglavnom se koristi crni tuš koji se mora brzo sušiti i ne smije se ljuštiti niti nagrizati pribor. Tušem se crtaju crteži koji će se kopirati u više primjeraka radi uporabe u proizvodnji, prilikom montaže, kontrole ili pri održavanju, odnosno za kompletiranje tehničke dokumentacije.

Papiri koji se koriste u tehničkom crtanju najčešće su celulozni papiri, dobiveni preradbom drvene mase. Od njih je najviše cijenjen tzv. bezdrvni papir, proizveden od čiste celuloze bez primjesa drvenjače. Svi ostali celulozni papiri srednje su fini papiri. Prema masi na jedinicu površine razlikuju se lakši papiri ($10\cdots60\text{ g/m}^2$), srednje teški papiri ($60\cdots120\text{ g/m}^2$), polukartoni ($150\cdots200\text{ g/m}^2$), kartoni ($200\cdots600\text{ g/m}^2$) i ljepenke ($>600\text{ g/m}^2$). Za mnoga je područja uporabe papira bitan način njegove dorade i obradbe površine, pa se razlikuje i po glatkoći površine (npr. grafički papiri, omotni papiri, kartoni i ljepenke, sanitarni i tehnički papiri). Grafički papiri koriste se za pisanje, crtanje i za tisak. Između papira za pisanje i za crtanje nema veće razlike u načinu proizvodnje i svojstvima. U specijalni tehnički papir spada i papir za precrtavanje i kopiranje. U tehničke svrhe koristi se crtači papir za radioničke crteže, transparentni crtači papir, naravni paus papir, uljni paus-papir i paus-platno (koje je posebnim prepariranjem postalo prozirno). Za crtanje se koristi i hamer papir čija je površina vrlo glatka i osjetljiva na tlak i prljanje.



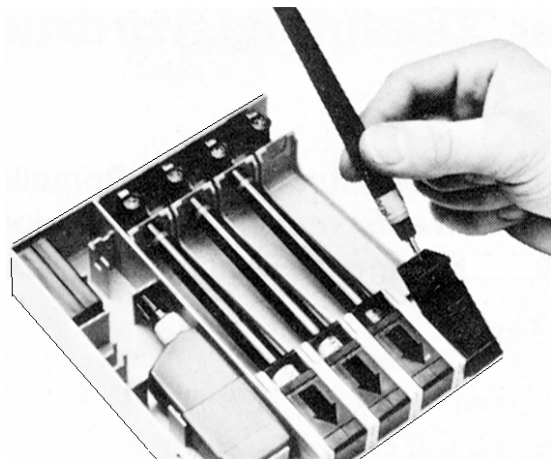
Slika 7.18. Crtanje pomoću krivuljara [10]



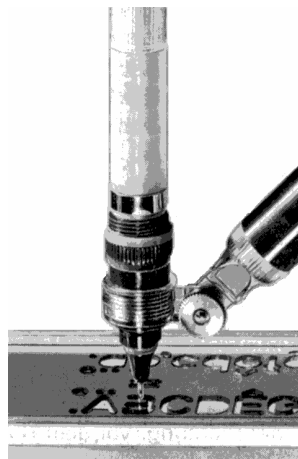
Slika 7.19. Određivanje kuta pomoću kutomjera [10]

Kutomjeri (slika 7.19.) služe za prenošenje stupnjeva, a preciznije prenošenje kutova (minute i sekunde) nije moguće i ono se odoka prosuđuje. Izrađuju se od istih materijala kao i trokuti, a ponekad i od lima.

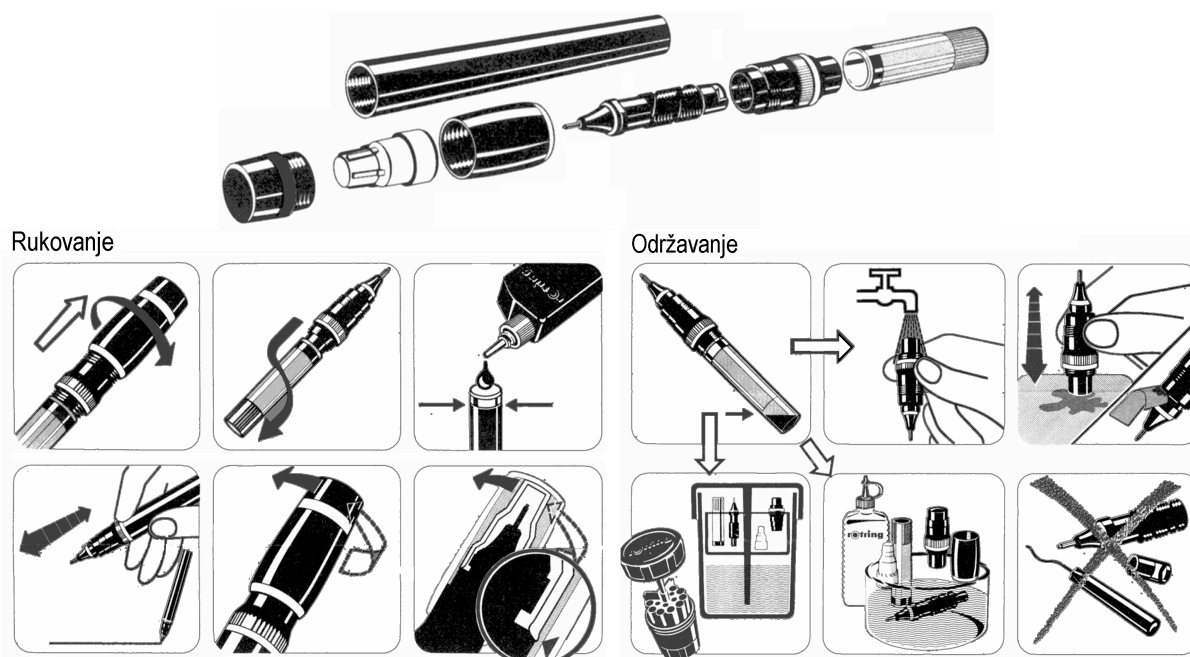
Krivuljari (slike 7.18. i 7.25.c) su kombinacija spirala, elipsa, parabola i hiperbola, a služe za izvlačenje krivulja koje se ne mogu izvući šestarom. Izrađuju se od istog materijala kao i trokuti.



Slika 7.20. Uobičajena garnitura pera za pisanje i crtanje s bočicom tuša



Slika 7.21. Uporaba pera i šablone za pisanje tehničkog pisma



Slika 7.22. Konstrukcija, rukovanje i održavanje pera za crtanje i pisanje tušem

Pera za pisanje i crtanje služe za izvlačenje crta i opisivanje crteža. Danas su vrlo rijetko u uporabi tzv. kotir- i redis-pera, već se koriste posebno konstruirana tehnička pera s kapilarnim djelovanjem (cjevčica s iglicom)(slika 7.22.). Takva se pera koriste u kompletima (slika 7.20.), a za svaku internacionalnu širinu crte

(prema ISO 128) koristi se posebno pero (slika 7.23.). Pera za pisanje pomoću šablona za pisanje usklađena su sa širinama prema ISO 3098 (slika 7.21.).



Slika 7.23. Za svaku širinu crte koristi se posebno pero

Gumicama se brišu crte izvučene olovkom i tušem, ali se brišu i mrlje i slična zaprljana mjesta na crtežu. Svakim potezom gumice oštećuje se površina papira, pa je prije izvlačenja crte tušem treba pripremiti tako da se lagano prekrije grafitom (npr. mekom olovkom).

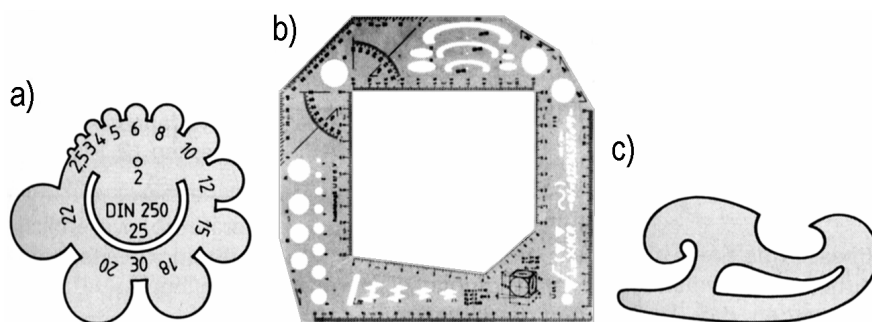


ISO 3098 I/B

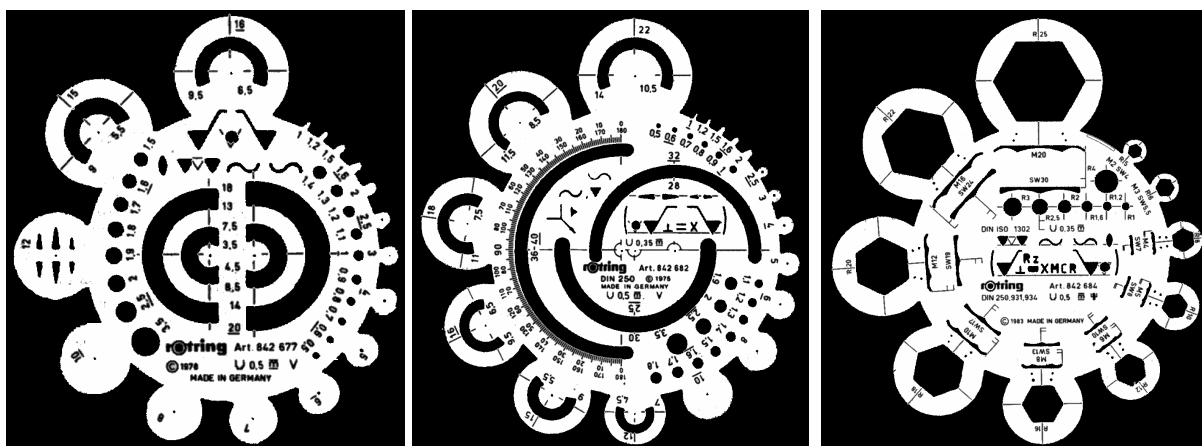
2,5 mm	Hamburg	01234567890	Hamburg	01234567890
3,5 mm	Hamburg	01234567890	Hamburg	01234567890
5,0 mm	Hamburg	012345	Hamburg	012345
7,0 mm	Hamburg	01	Hamburg	01
10,0 mm	Hamburg		Hamburg	
14,0 mm	Hambu		Hambu	

Slika 7.24. Šablone za pisanje tehničkog pisma (gore) i primjeri ispisa ravnog i kosog tehničkog pisma različite visine, prema normi ISO 3098 I/B

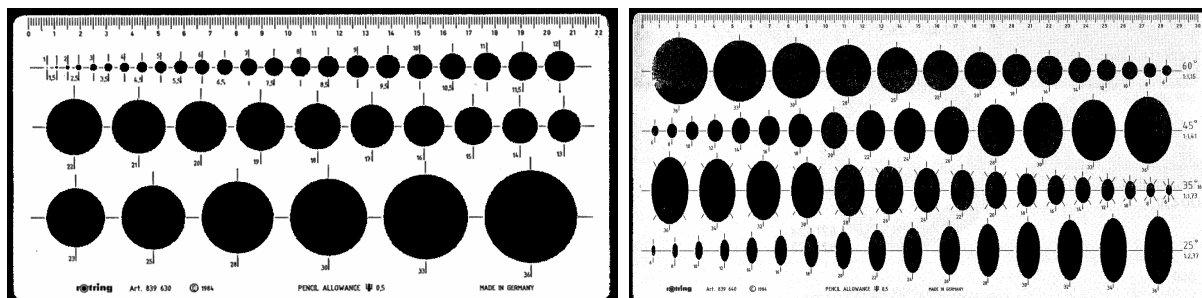
Šablone za pisanje (slika 7.24.) koriste se za ujednačeno ispisivanje slova i znakova tehničkog pisma pri opisivanju crteža, dok se **šablone za crtanje** koriste za pravilno i brzo crtanje nekih detalja kao što su polumjeri zakrivljenja, kružnice, elipse, šesterokute matice i glave vijaka, kvadrati, trokuti i slično (slike 7.25., 7.26. i 7.27.). Šablone za pisanje izrađene su u raznim standardnim veličinama, i to uglavnom od umjetnog prozirnog materijala. Postoje i posebno oblikovane šablone za crtanje, npr. oznaka zavora, simbola u pneumatičnim i hidrauličkim shemama, simbola za crtanje informatičkih algoritama itd. Sve su one uglavnom prilagođene za crtanje pomoću pera za crtanje određene širine ili pomoću suvremenih tankocrtih mehaničkih olovaka određene širine (0,5 ili 0,7 mm).



Slika 7.25. Šablone za crtanje polumjera zakrivljenja (a), višenamjenska šablona za crtanje (b) i krivuljar (c)



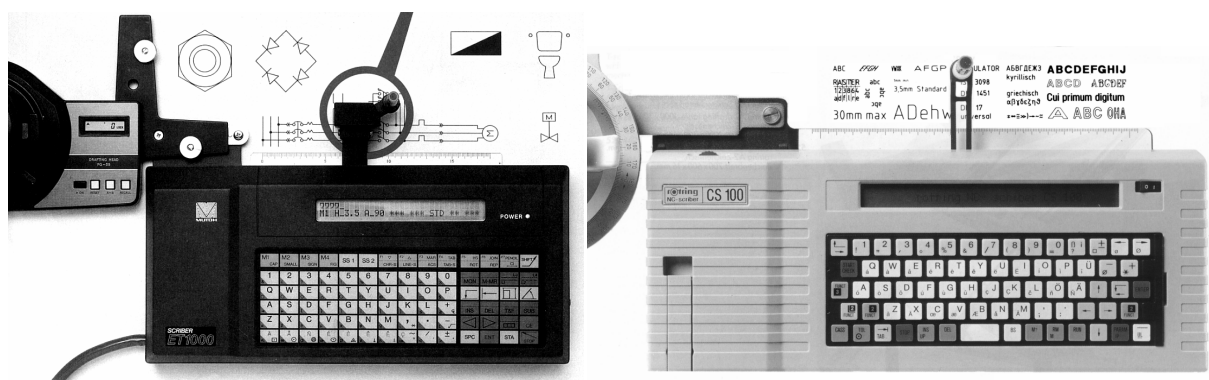
Slika 7.26. Različite šablone za crtanje



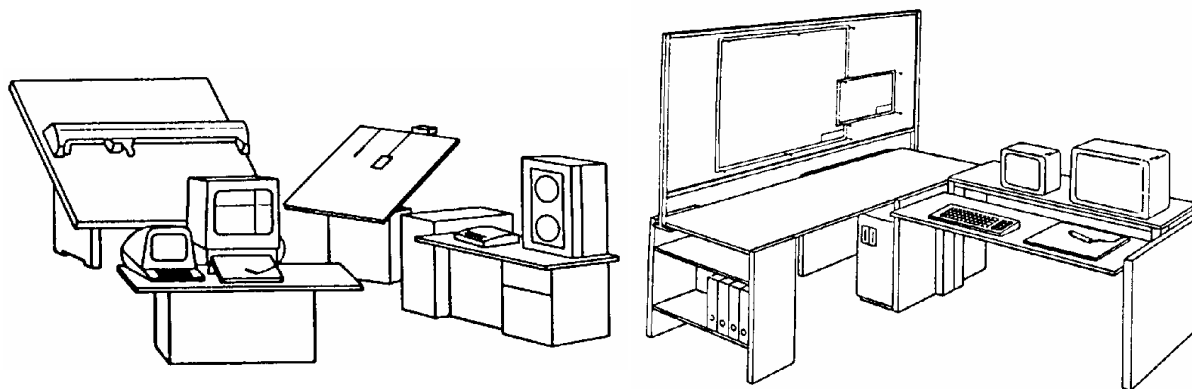
Slika 7.27. Šablone za crtanje kružnica i elipsi različitih dimenzija

Sav pribor i pomagala za tehničko crtanje treba pravilno čuvati, upotrebljavati i održavati čistim nakon uporabe.

Sve rečeno odnosi se na klasično tehničko crtanje. Ako se radi o crtanju podržanom računalom, tada se paleta pomagala proširuje na razna pomagala za pisanje tehničkog pisma i crtanje različitih simbola, koja su numerički upravljana miniračunalima (slika 7.28.) ili na računala s odgovarajućim programskim paketima za tehničko crtanje, crtače (plotere), uređaje za snimanje podataka s crteža (skenere), tipkovnice, miševe, tablete, medije za pohranjivanje podataka itd. Izgled radnog mjesta suvremenog tehničkog crtača ili konstruktora bitno se mijenja i poprima sasvim drukčiji izgled od onoga koje je to mjesto imalo kod klasičnog tehničkog crtanja (slike 7.29., 7.30., 7.31., 7.32. i 7.33.).



Slika 7.28. Numerički upravljani pisači za ispis tehničkog pisma ili simbola kao što su znakovi hrapavosti površine, simboli kod geometrijskih tolerancija i slično



Slika 7.29. Mogući izgled suvremenog radnog mjesta tehničkog crtača ili konstruktora bez klasične crtaće ploče, ali s dva zaslona (monitora) i računalnom podrškom

Uz podršku računala (kod manjih sustava to mogu biti i PC odgovarajućih karakteristika) tehničko crtanje postaje jednostavnije i kvalitetnije, ali samo ako se poznaju sva pravila i zakonitosti koje vrijede u tehničkom crtanju. Za iscrtavanje crteža koriste se crtači (ploteri) koji mogu biti vrlo različiti, što ovisi o veličini i količini crteža te njihovoj namjeni (slike 7.30., 7.32., 7.33. i 7.34.).



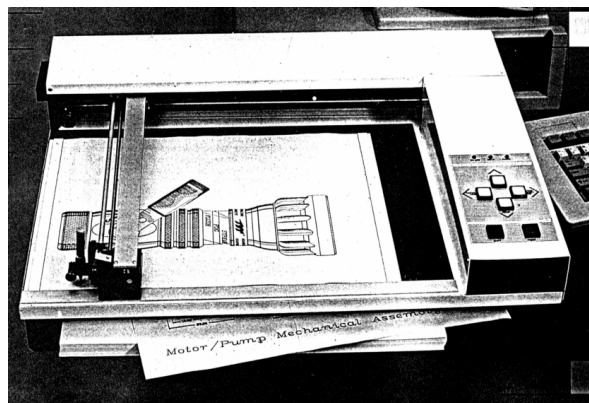
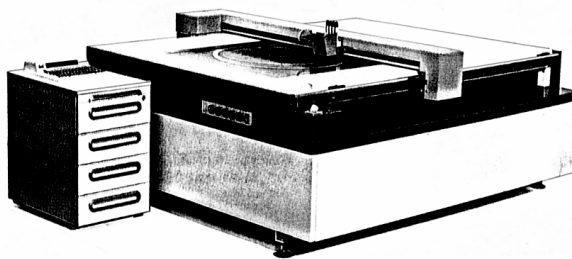
Slika 7.30. Osim računala (radne stanice) radno mjesto konstruktora mora biti opremljeno i računalom upravljanim crtačem (ploterom)



Slika 7.31. Izgled radnog mjesta suvremenih konstruktora s dva zaslona (monitora) – tekstualni (lijevo) i grafički (desno)



Slika 7.32. Različiti tipovi i izvedbe računalom podržanih crtača (plotera)



Slika 7.33. Stolni položeni crtač (ploter) za formate A3 i A2 prilagođen vrlo rasprostranjenom programu za crtanje AutoCAD



Slika 7.34. Kod korištenja osobnih računala (PC) može za iscrtavanje formata A4 i A3 poslužiti i tiskač (pisač, printer)

7.2. Formati i organizacija tehničkih crteža

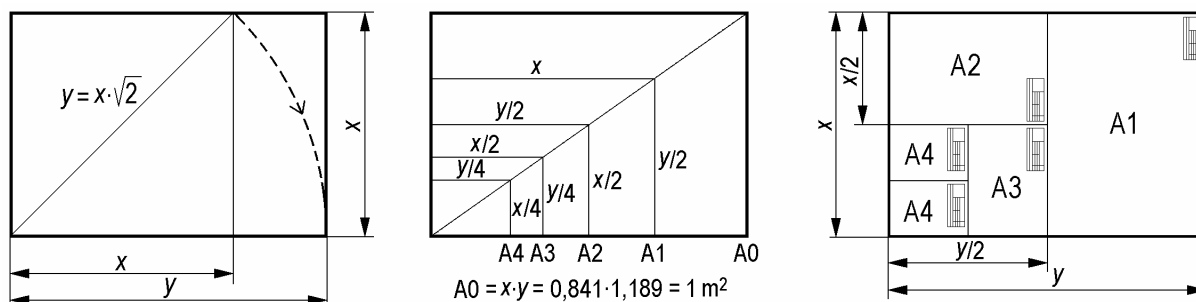
Formati tehničkih crteža propisani su normom ISO 5457. Ovo je potrebno radi proizvodnje papira i urednog pohranjivanja. Crteži se često čuvaju više godina, a kroz to vrijeme skupi se velik broj crteža koji moraju uvijek biti pristupačni. Kada bi crteži bili proizvoljnih formata, bilo bi nemoguće održavati red u arhivama i vrlo teško naći traženi crtež. U proizvodnji papira normirano je više nizova formata (tablica 7.1.). Format A niza je osnovni niz i upotrebljava se za tehničke crteže, tiskanice i različite obrasce. Format niza B definiran je tako da duljina manje stranice njegova početnog formata B0 iznosi 1000 mm, a služi za različite omote (za fascikle, korice knjiga i slično). Format niza C između je niza A i B, a upotrebljava se za tiskarske potrebe. Format papira niza D najmanji je i također se upotrebljava za tiskarske potrebe (nije obuhvaćen normom ISO 5457).

Površina osnovnog formata papira A0 ima ploštinu 1 m^2 . Kod svih standardnih formata usvojen je omjer stranica (slika 7.35.) $x : y = 1 : \sqrt{2}$. Iz rečenog slijedi da je za A0 format $x = 841 \text{ mm}$, a $y = 1189 \text{ mm}$.

Tablica 7.1. Formati papira

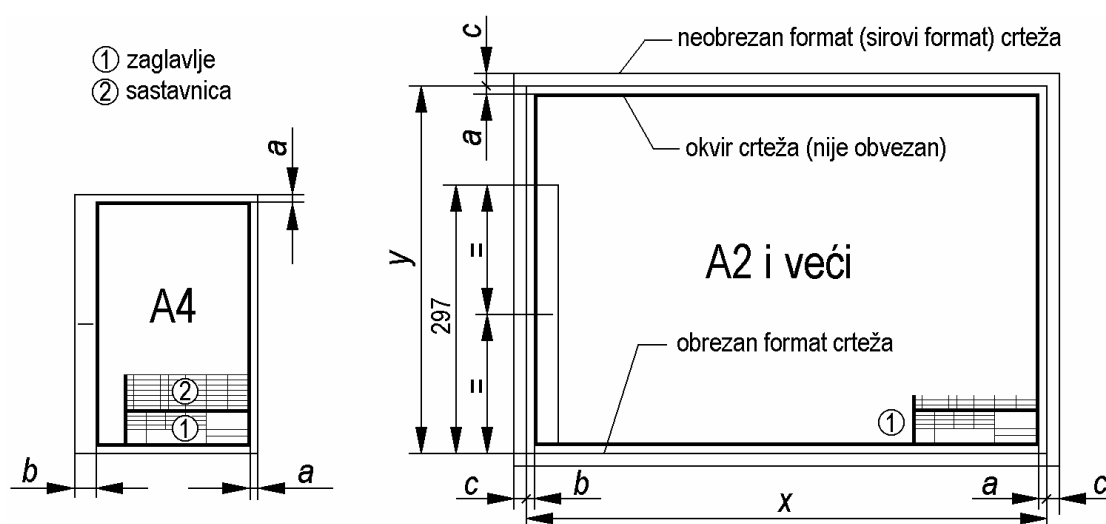
Razred	Osnovni niz		Dopunski nizovi					
	A		B		C		D	
	Oznaka	Izmjera, mm	Oznaka	Izmjera, mm	Oznaka	Izmjera, mm	Oznaka	Izmjera, mm
	4A0	1682 x 2378						
	2A0	1189 x 1682						
0	A0	841 x 1189	B0	1000x1414	C0	917 x 1297	D0	771 x 1090
1	A1	594 x 841	B1	707 x 1000	C1	648 x 917	D1	545 x 771
2	A2	420 x 594	B2	500 x 707	C2	458 x 648	D2	385 x 545
3	A3	297 x 420	B3	353 x 500	C3	324 x 458	D3	272 x 385
4	A4	210 x 297	B4	250 x 353	C4	229 x 324	D4	192 x 272
5	A5	148 x 210	B5	176 x 250	C5	162 x 229	D5	136 x 192
6	A6	105 x 148	B6	125 x 176	C6	114 x 162	D6	96 x 136
7	A7	74 x 105	B7	88 x 125	C7	81 x 114	D7	68 x 96
8	A8	52 x 74	B8	62 x 88	C8	57 x 81	D8	48 x 68
9	A9	37 x 52	B9	44 x 62	C9	40 x 57	D9	34 x 48
10	A10	26 x 37	B10	31 x 44	C10	28 x 40	D10	24 x 34
11	A11	18 x 26	B11	22 x 31				
12	A12	13 x 18	B12	15 x 22				

Format A1 ima upola manju površinu od formata A0, a format A2 upola manju površinu od formata A1 i tako redom do formata A6 koji ima upola manju površinu od formata A5. Normalan položaj zaglavlja crteža jest donji desni kut kako je prikazano na slici 7.35. (desno). Tako se dobiju formati papira kako je prikazano u tablica 7.1. Samo kod formata A4 i A6 dulja stranica je okomita, dok je kod ostalih formata (A0, A1, A2, A3 i A5) dulja stranica vodoravna. Pri izboru formata papira za tehničke crteže prednost imaju formati A0, A1, A2, A3 i A4. U posebnim potrebama formati papira mogu se koristiti i u uzdužnom i u poprečnom položaju.



Slika 7.35. Omjer stranica formata A niza

Prostor za crtanje ograničen je okvirom crteža koji se izvlači punom širokom crtom čija širina nije manja od 0,5 mm (oznaka crte A10)(slika 7.36.). Izmjere neobrezanih ili sirovih formata i obrezanih ili gotovih formata dani su u tablici 7.2., koja je u izravnoj vezi sa slikom 7.36.



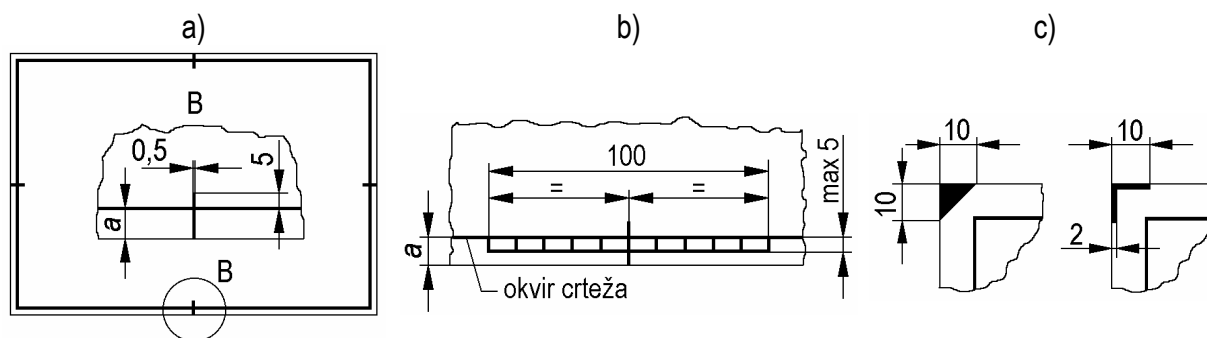
Slika 7.36. Neobrezani i obrezani format niza A s općim izmjerama (vidi tablicu 7.2.)

Tablica 7.2. Izmjere obrezanog i neobrezanog formata niza A prema ISO 5457 (veza sa slikom 7.36.)

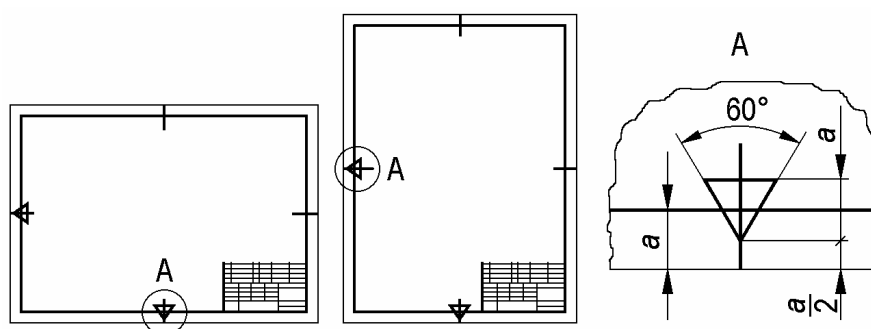
Oznaka formata crteža	Izmjera, mm				
	x	y	a	b	c
A0	1189	841	10	5	20
A1	841	594	10	5	20
A2	594	420	7	5	10
A3	420	297	7	20	10
A4	297	210	7	15	10
A5	210	148	-	15	-
A6	148	105	-	15	-

Formati A2 i veći imaju s lijeve strane u donjem dijelu ucrtano polje 20 x 297 mm s oznakom središta, koje je predviđeno za uvezivanje pri ulaganju crteža u korice s mehanizmom (slika 7.36.). Kod formata A3, A4 i A5 ovo polje postoji između lijevog ruba formata i okvira crteža (prema tablici 7.2. kod A3 je 20 mm, a

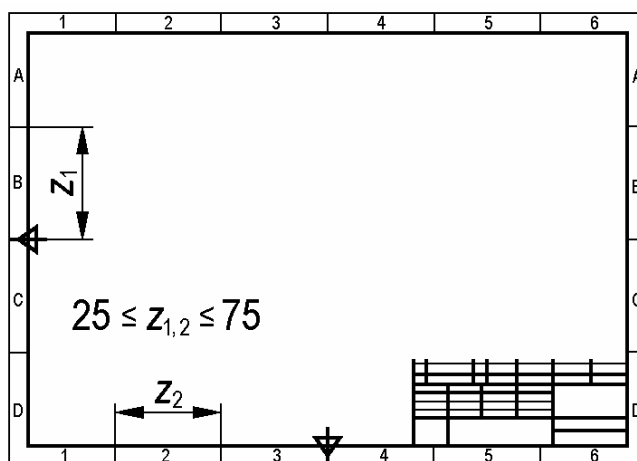
kod A4 i A5 je 15 mm). U praksi je uvriježeno da se za uvezivanje koristi polje širine najviše 25 mm (mjereno od lijevog ruba obrezanog formata udesno) [16].



Slika 7.37. Posebne oznake na crtežima
(a – oznake za središtenje, b – referentna metrijska skala, c – oznake za obrezivanje)



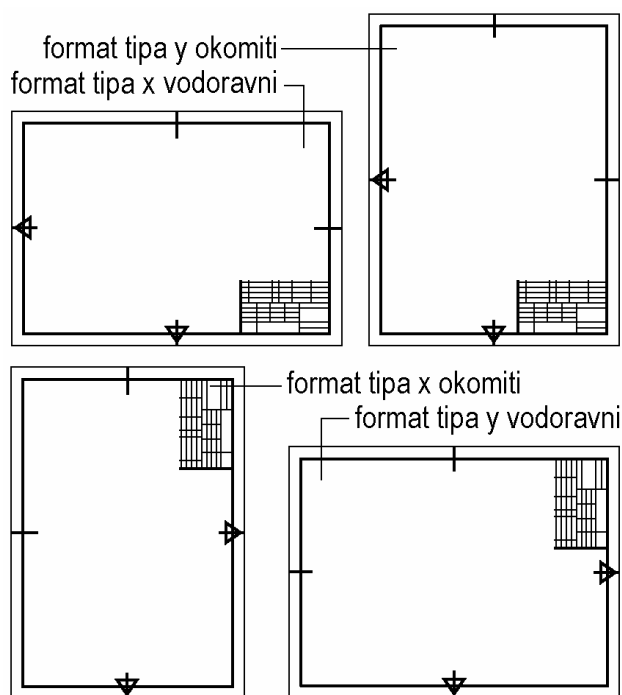
Slika 7.38. Posebne oznake na crtežima (oznake za orijentaciju)



Slika 7.39. Posebne oznake na crtežima (sustav referentne mreže)

Osim okvira, na crtežu se nalazi i nekoliko posebnih oznaka s određenim značenjem ili porukama korisniku crteža (slike 7.37., 7.38. i 7.39.). Svi osnovni i

produženi formati¹ trebaju imati četiri oznake za središtenje (centriranje) (slika 7.37.a), koje olakšavaju postupak kopiranja i snimanja na mikrofilm. Na svim veličinama formata može se ucrtati i referentna metrijska skala bez brojčanih oznaka, najmanje dužine 100 mm koja je podijeljena na 10 jednakih dijelova (slika 7.37.b). Ucrtava se simetrično na mjestu oznake za središtenje, širinom crte ne manjom od 0,5 mm. Kod crteža koji će se snimati na mikrofilmove u više dijelova (sekcija), referentna metrijska skala mora se nalaziti na svakom dijelu snimljenog crteža. Oznake za obrezivanje ucrtavaju se na sve kutove crteža (slika 7.37.c), a olakšavaju pozicioniranje kopija pri ručnom ili automatiziranom obrezivanju crteža. Radi orijentacije formata crteža pri postavljanju na crtači stol ili crtaću ploču mogu se na okviru crteža ucrtati i oznake za orijentaciju (slika 7.38.) na istom mjestu na kojemu je i oznaka za središtenje. Oznake sekcija ili tzv. sustav referentne mreže koristan je posebice kod crteža većih formata (slika 7.39.) za lakše pronalaženje detalja, unošenje izmjena, snimanje na mikrofilmove po sekcijama i slično. Mreža mora biti simetrična u odnosu na oznake za središtenje, brojke i slova za označavanje sekcija moraju biti uspravna, a širina crtica treba biti najmanje 0,5 mm.



Slika 7.40. Smještaj zaglavlja na formatima tipa x i y te oznake središta i orijentacije formata

Prema ISO 5457 dopušteni su tzv. tipovi formata x i y (vodoravni i okomiti). Na slici 7.40. dan je prikaz smještaja zaglavlja kod ovih tipova formata. Slova,

¹ Ako se pokaže potreba za crtanjem predmeta kod kojih je omjer duljine i visine vrlo velik, koriste se tzv. produženi formati koji su sastavljeni od jednakih ili susjednih formata (zajednička im je visina – izmjera y).

brojevi i oznake upisuju se tako da se uvijek čitaju slijeva udesno s obzirom na oznaku orijentacije formata.

Tablica 7.3. Previjanje različitih formata na veličinu format A4 za ulaganje u mapu s mehanizmom

FORMAT	HEMA PREVIJANJA FORMATA	PREVIJANJE	
		UZDUŽNO	POPREČNO
2A0 1189 x 1682			
A0 841 x 1189			
A1 594 x 841			
A2 420 x 594			
A3 297 x 420			

Tablica 7.4. Previjanje različitih formata na veličinu format A4 za ulaganje u mapu bez mehanizma ili slaganje na police ormara

FORMAT	HEMA PREVIANJA FORMATA	PREVIJANJE	
		UZDUŽNO	POPREČNO
2A0 1189 x 1682	<p>Uzdužni prijevoji</p>		
A0 841 x 1189			
A1 594 x 841			
A2 420 x 594			
A3 297 x 420			

Previjanje formata. Originalni crteži koji su crtani na prozirnog papiru (paus-ili transparentnom papiru) ne previjaju se, jer bi se previjanjem oštetili i vrlo brzo

uništiti. Oni se pohranjuju u posebne položene ormare s ladicama za ulaganje neprevijenih crteža ili se urolani odlažu u posebne stalke (slika 7.8., desno). Previjaju se samo kopije crteža, i to na veličinu formata A4. Previjanje može biti za ulaganje u mapu s mehanizmom (tablica 7.3.) ili bez mehanizma ili slaganje na police ormara (tablica 7.4.)(prema DIN 824). I u jednom i u drugom slučaju postupak previjanja mora biti proveden tako da zaglavlje i sastavnica budu na gornjoj strani i potpuno vidljivi.

Ako se previjanje provodi za veći broj crteža, treba izraditi šablone za previjanje, čime se ovaj postupak olakšava i ubrzava. Pri čestom razvijanju crteža (posebice većih formata) postoji mogućnost oštećenja dijela koji se ulaže u mehanizam mape. Stoga se često ovaj dio ojačava kartonom ili se na mjestu provrta za mehanizam postavljaju posebne plastične naljepnice (vanjski promjer je 14, a unutarnji 5 mm).

7.3. Zaglavlja i sastavnice

Za upisivanje osnovnih podataka potrebnih za identifikaciju i primjenu crteža koristi se zaglavlje i sastavnica. Zaglavlje i sastavnica uobičajeno se crtaju u desnom donjem kutu formata crteža, bez obzira na njegovu veličinu. Osnovni sadržaj zaglavlja prikazan je na slikama 7.41. i 7.42. prema DIN 6771. Sastavnica se uobičajeno crta iznad zaglavlja, ili ako ovdje nema dovoljno prostora, može se crtati i na nekom drugom dijelu formata crteža. U sastavnicu se upisuju svi dijelovi (pozicije) nacrtanog sklopa te svi karakteristični podaci o dijelu. Na slici 7.41. prikazano je zaglavlje radioničkog crteža ili crteža jedne pozicije (dijela), a na slici 7.42. prikazano je zaglavlje i osnovni red sastavnice sklopa (montažnog crteža).



(Područje primjene)			(Dopušteno odstupanje)		(Površinska hrapavost)	Mjerilo:	(Masa)
			0,35			(Materijal, poluproizvod)	
						(Sirov dio - br.)	
						(Model ili kalup - br.)	
			Datum	Ime	(Naziv)		
			Izradio				
			Provjerio				
			Norma				
			Odobrio				
			(Tvrтка)			(Broj crteža)	List:
							L
St.iz.	Izmjena	Datum	Ime	(Porijeklo)		(Zamjena za:)	(Zamijenjen sa:)

Slika 7.41. Primjer zaglavlja za tehničke crteže dijelova (radioničke crteže)(prema DIN 6771)

Ovisno o potrebi, zaglavlja i sastavnice mogu se prilagoditi potrebama tvrtke, pa se stoga uočava velika razlika u raznim poduzećima (razlika se očituje u veličini sastavnice te u broju i rasporedu informacija). Primjeri zaglavlja prilagođenih potrebama korisnika dani su na slikama 7.43., 7.44. i 7.45.

Poz.	Kol.	JM	Naziv		Broj dijela/norma - kratka oznaka		Primjedba
(Područje primjene)			(Dopušteno odstupanje)	(Površinska hrapavost)	Mjerilo:	(Masa)	
					(Materijal, poluproizvod)		
					(Sirov dio - br.)		
					(Model ili kalup - br.)		
				Datum	Ime	(Naziv)	
			Izradio				
			Provjerio				
			Norma				
			Odobrio				
			(Tvrтка)			(Broj crteža)	List:
							L
St. iz.	Izmjena	Datum	Ime	(Porijeklo)	(Zamjena za:)	(Zamijenjen sa:)	

Slika 7.42. Primjer zaglavlja za sklopne ili montažne (dispozicijske) crteže s početnim redom sastavnice (prema DIN 6771)

Poz.	Naziv dijela		Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb	
Projektirao							
Razradio							
Crtao							
Pregledao							
ISO - TOL		Objekt			Objekt broj		
					R.N. broj		
		Napomena			Kopija		
		Materijal			Masa		
			Naziv			Pozicija	Format
		Mj. originala					Listova
			Crtež broj				List

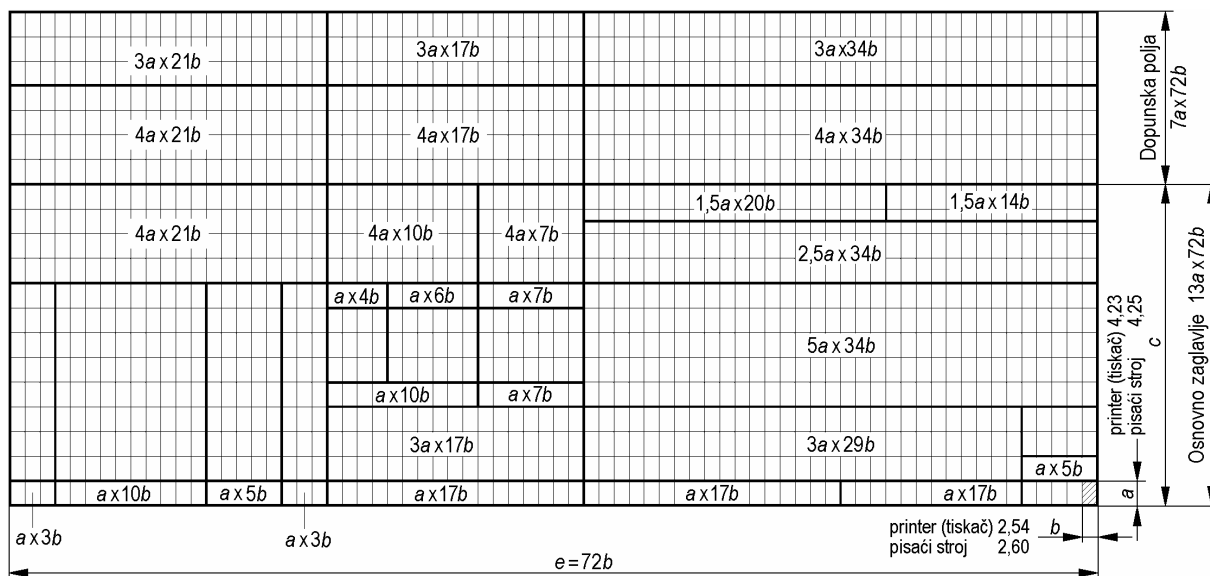
Slika 7.43. Primjer zaglavlja sklopnog ili montažnog (dispozicijskog) crteža prilagođenog potrebama Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu

15	20	40	75	
Mjerilo:	Datum:	Ime i prezime:	STROJARSKI FAKULTET Slavonski Brod	
Pozicija:	Sklopni crtež (broj):	Materijal:		
Broj crteža:	Naziv dijela:			
45				

Slika 7.44. Primjer zaglavlja radioničkog crteža prilagođenog potrebama konstrukcijskih vježbi iz predmeta Tehničko crtanje, Elementi strojeva i Osnove konstruiranja na Strojarskom fakultetu u Slavonskom Brodu

10	55	10	25	25	25	15	
6							
6							
6							
6							
6							
6	Kom.	Naziv dijela	Poz.	Standard (Broj crteža)	Materijal	Dimenzije	Masa (kg)
6		Datum	Ime i prezime	Potpis	STROJARSKI FAKULTET Slavonski Brod		
6	Konstruirao						
6	Crtao						
6	Odobrio						
6		20	40	25	Škol. god.:	Semestar:	
6	Mjerilo:	Naziv sklopa:				Broj crteža:	
6	20	100				45	

Slika 7.45. Primjer zaglavlja sklopnog ili montažnog (dispozicijskog) crteža prilagođenog potrebama konstrukcijskih vježbi iz predmeta Tehničko crtanje, Elementi strojeva i Osnove konstruiranja na Strojarskom fakultetu u Slavonskom Brodu

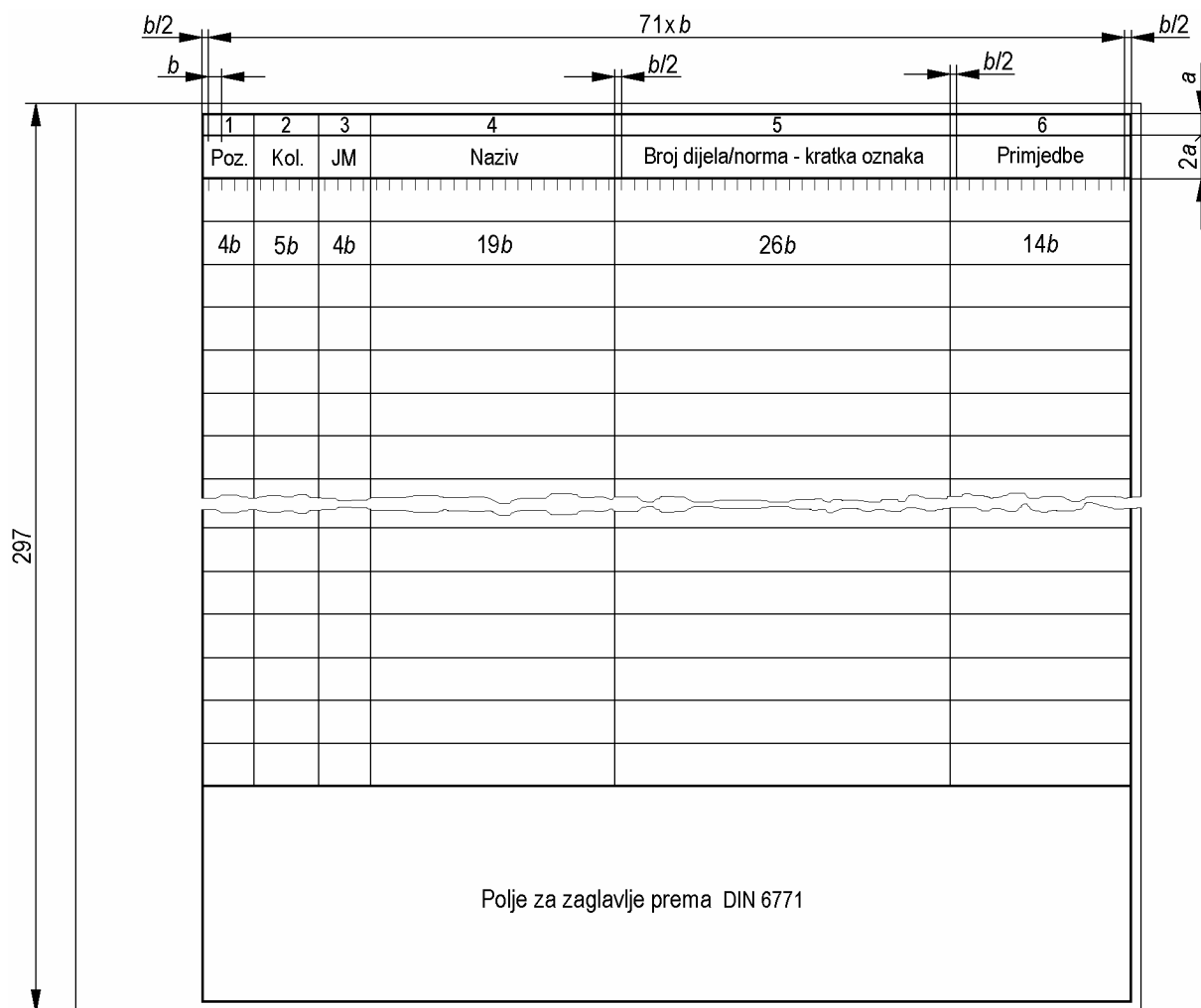


Slika 7.46. Mreža za definiranje izmjera zaglavlja na tehničkim crtežima

Tablica 7.5. Izmjere elemenata mreže (veza sa slikom 7.46.)

Širina crta, mm			Format	Način pisanja	a	b	c	e
Format	A4, A3 i A2	A1 i A0	A4 do A0	brzi tiskači (printeri)	4,23	2,54	54,99	182,88
Široke (A10)	0,70	1,0		pisači stroj ili ručno	4,25	2,60	55,25	187,20
Uske (B13)	0,35	0,5	A1 i A0	neovisno ¹	5,60	3,60	72,80	259,20
Ako se koriste samo dvije širine, dobra je i kombinacija 0,50 za široke, a 0,25 za uske crte			Za ručno pisanje može se koristiti i zaokružene izmjere. Izmjere su u mm, a prema DIN 6771					
			¹ npr. za potrebe mikrofilmovanja					

Izmjere zaglavlja (slike 7.41. i 7.42.) ovise o načinu ispisivanja. Ako se planira ispis brzim pisačima (printerima) ili pisačim strojevima, trebalo bi izmjere uklopiti u mrežu prikazanu na slici 7.46. Iz slike 7.46. i tablice 7.5. vidljivo je da postoje tri varijante zaglavlja (dva normalna s $e = 182,88$ i $e = 187,2$ mm te jedno uvećano $e = 259,20$ mm). Ova se mreža može koristiti i kao podloga za izradu zaglavlja za vlastite potrebe i ručni ispis (šablonama za pisanje tehničkog pisma npr.).



Slika 7.47. Sastavnica za sklopni crtež (izmjere prema tablici 7.6.)

Tablica 7.6. Izmjere elemenata sastavnice za sklopni crtež (veza sa slikom 7.47.)

Tehnika ispisivanja	Izmjere, mm	
	a	b
Brzi tiskači (printeri)	4,23	2,54
Pisači strojevi ili ručno pisanje	4,25	2,60
Za potrebe mikrofilmovanja	5,60	3,60

[illegible]

Slika 7.48. Primjer zasebne sastavnice A4 formata

U novije se vrijeme iz razno raznih razloga² koriste i zasebne sastavnice A4 formata prilagođene ispisu pomoću brzih tiskara (printera). One su prilog sklopnim crtežima i obično nose njegov broj iz zaglavlja. Sadrže često puno više podataka (informacija) od onih koje se crtaju u nastavku zaglavlja na crtežima. Primjer jedne takve sastavnice dan je na slici 7.48.

7.4. Mjerila

Mjerilo predstavlja omjer istih veličina predmeta na crtežu i u naravi. Kada su ove veličine jednake i na crtežu i na predmetu koji je nacrtan, tj. kada crtež prikazuje predmet u naravnoj veličini, radi se o mjerilu **1 : 1**. Na radioničkim crtežima najbolje je, ako je to moguće, predmete crtati u naravnoj (pravoj) veličini kako bi radnik imao što bolju predodžbu o predmetu.

Ovisno o potrebi, predmet može biti nacrtan umanjen ili uvećan. Koje će se mjerilo uporabiti i kada, ovisi o veličini predmeta i njegovoj složenosti. Kada bi se npr. srednji i veliki predmeti crtali u naravnoj veličini, to bi zahtijevalo uporabu vrlo velikih i nesprenih formata crteža, i za crtanje i za kasniju uporabu u proizvodnji. Obrnuto, kada bi se mali i vrlo mali predmeti crtali u naravnoj veličini, bilo bi nemoguće nacrtati sve detalje i izvesti pravilno kotiranje. Iz tih razloga, pri izboru mjerila treba voditi računa da izabrani format papira za crtež bude takav da gustoća crteža ne ugrozi njegovu čitljivost i razumljivost.

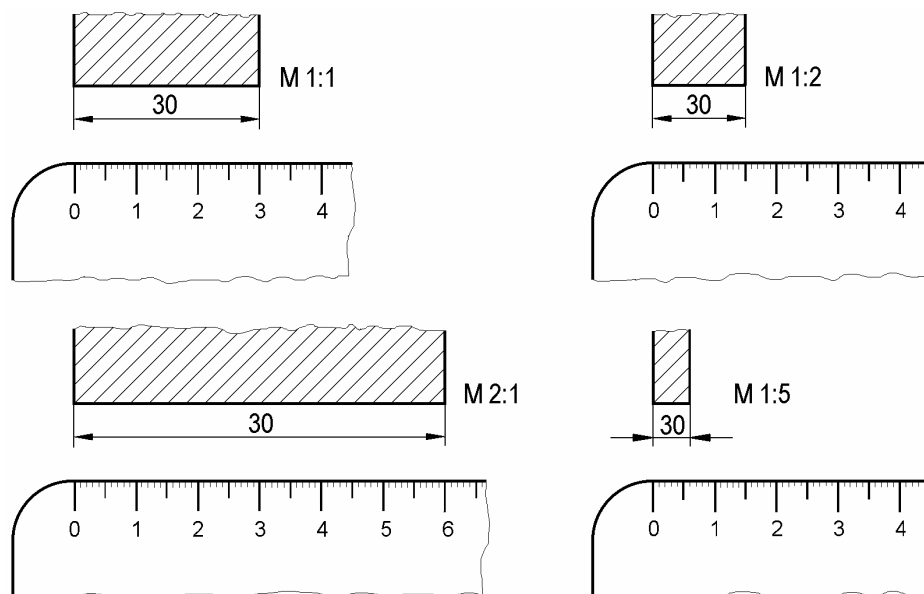
Tabela 7.7. Mjerila koja se koriste u tehničkim crtežima (ISO 5455)

Vrsta mjerila	Propisano mjerilo		
Za uvećanje	50 : 1	20 : 1	10 : 1
	5 : 1	2 : 1	
Za naravnu veličinu	1 : 1		
Za umanjeње	1 : 2	1 : 5	1 : 10
	1 : 20	1 : 50	1 : 100
	1 : 200	1 : 500	1 : 1000
	1 : 2000	1 : 5000	1 : 10000

Predmet može biti nacrtan u jednom usvojenom mjerilu (glavnom mjerilu), a neki njegovi dijelovi (detalji, presjeci i slično) mogu biti posebno nacrtani na istom crtežu uvećani ili umanjeni. U zaglavlju crteža predviđeno je polje za upisivanje mjerila. Nešto većim brojevima upisuje se glavno mjerilo (npr. 1 : 1), a ostala mjerila upisuju se uz posebno nacrtane detalje, presjeke ili slično (npr. Mjerilo 2 : 1, M 2 : 1 ili samo 2 : 1). Ako je ostalih mjerila malo (npr. jedno ili dva), ona se osim detalja mogu manjim brojevima upisati ispod glavnog mjerila u zaglavlju crteža. Normizirana i uobičajena mjerila koja se koriste u tehničkom crtanju navedena su u tablici 7.7.

Neovisno o tome crta li se predmet uvećan ili umanjen, u crtež se unose uvijek stvarne izmjere predmeta (slika 7.49.).

² Jednostavan ispis, strateški razlozi, lakša provedba izmjena itd.



Slika 7.49. Neovisno o mjerilu, na crtežu su uvijek upisane stvarne mjere predmeta

7.5. Vrste crta i njihova primjena

Za razliku od crteža u drugim područjima, kod prikazivanja predmeta na tehničkim crtežima u strojarstvu upotrebljavaju se isključivo crte različite po vrsti i širini. Propisanom namjenom pojedinih crta postiže se potpuna jasnoća i jednoznačnost prikazivanja, a isključuje svaki nesporazum pri čitanju i izradi crteža.

Prema ISO 128-23 predviđeno je 14 vrsta crta koje su prikazane u tablici 7.8. u kojoj je detaljno opisana i njihova primjena. Općenito se crte prema normi ISO 128-23 primjenjuju u konstrukcijskoj dokumentaciji uključujući arhitektonske crteže, strukturni tehnički crteži, tehnički crteži za održavanje zgrada, građevinski tehnički crteži, crteži zemljišta (geodetski crteži) i crteži gradskih planova.

Prema ISO 128-24 predviđeno je 9 vrsta crta koje su prikazane u tablici 7.10. u kojoj je detaljno opisana i njihova primjena. Općenito se crte prema normi ISO 128-24 primjenjuju u konstrukcijskoj dokumentaciji koja se upotrebljava u strojarstvu.

Primjeri primjene pojedinih vrsta crta dani su na slikama 7.50., 7.51., 7.52. i 7.53, koje su u vezi s tablicama 7.8. i 7.10.

Na konstrukcijskim crtežima prema ISO 128-23 uobičajeno se upotrebljavaju tri širine crta: uska, široka i posebno široka crta (tablica 7.9.). Omjer njihovih širina jest 1:2:4.


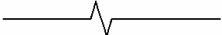




Na tehničkim crtežima u strojarstvu prema ISO 128-24 uobičajeno se upotrebljavaju dvije širine crta (tablica 7.11.). Omjer njihovih širina jest 1:2.

Širine crta čine geometrijski niz u kojemu se svaka sljedeća širina dobije na taj način da se prethodna pomnoži s $\sqrt{2}$ i po potrebi zaokruži na pogodnu vrijednost

(vidi stupac "Skupina crta" u tablicama 7.9. i 7.11.). Širina crta za grafičke simbole smještena je između širine uske i široke crte.





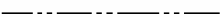



Skupina crta bira se na osnovi tipa, veličine i mjerila crteža. Iskustveno se preporučuje za crteže formata A2 i manje skupina crta do širine 0,5, a za crteže formata A1 i veće skupina crta 0,7 i veće (vidi tablicu 7.11.).

Tablica 7.8. Crte na konstrukcijskim crtežima prema normi ISO 128-23
(veza sa slikom 7.50.)

Oznaka crte	Opis i prikaz crte	Primjena	Veza s ISO
01.1	Neprekidna uska crta 	.1 granice različitog materijala u pogledu, rezu i presjeku (alternativno, vidi 01.2.2)	7519
		.2 iscrtavanje (šrafiranje)	4069
		.3 dijagonale za označavanje otvora, rupa i udubljenja	7519
		.4 crte strelica u područjima stubišta, platformi i kosina	7519
		.5 modularne mrežne crte, prvi stupanj	8560
		.6 kratke simetrale	-
		.7 produžene crte	129
		.8 mjernice i njihovi završeci	129
		.9 pomoćne mjerne crte	129
		.10 postojeće izohipse ² na crtežima zemljišta (alternativno, vidi 02.1.1)	11091
		.11 vidljive konture dijelova u pogledu (alternativno, vidi 01.2.3)	-
		.12 pojednostavnjeni prikaz vrata, prozora, stubišta, spojeva itd. (alternativno, vidi 01.2.4)	7519
		.13 uokvirivanje detalja	-
	Neprekidna uska crta s cikcakom 	.14 granice djelomičnog ili prekinutog pogleda, reza i presjeka, ako granica nije crta 04.1 (alternativno, vidi 04.1.6)	-
01.2	Neprekidna široka crta 	.1 vidljive konture dijelova u rezovima i presjecima ako je upotrijebljeno iscrtavanje (šrafiranje)	7519
		.2 granice različitog materijala u pogledu, rezu i presjeku (alternativno, vidi 01.1.1)	-
		.3 vidljive konture dijelova u pogledu (alternativno, vidi 01.1.11)	7519
		.4 pojednostavnjeni prikaz vrata, prozora, stubišta, spojeva itd. (alternativno, vidi 01.1.12)	7519
		.5 modularne mrežne crte, drugi stupanj	8560
		.6 crte strelica za označavanje pogleda, rezova i presjeka	8048
		.7 predložene izohipse na crtežima zemljišta	11091
01.3	Neprekidna posebno široka crta 	.1 vidljive konture dijelova u rezovima i presjecima ako nije upotrijebljeno iscrtavanje (šrafiranje)	7519
		.2 pojačane (armirane) pregrade (vidi 02.3)	3766
		.3 crte od posebne važnosti	-
02.1	Crtkana uska crta 	.1 postojeće izohipse na crtežima zemljišta (alternativno, vidi 01.1.10)	11091
		.2 podjela biljnih rasada/travnjaka	11091
		.3 nevidljive (skrivenе) konture (alternativno, vidi 02.2.1)	-
02.2	Crtkana široka crta 	.1 nevidljive (skrivenе) konture (alternativno, vidi 02.1.3)	-

² Crta koja spaja mjesta jednake nadmorske visine.









Tablica 7.8. Crte na konstrukcijskim crtežima prema normi ISO 128-23
(veza sa slikom 7.50.)(nastavak)

Oznaka crte	Opis i prikaz crte	Primjena		Veza s ISO
02.3	Crtkana posebno široka crta 	.1	pojačane (armirane) pregrade u najnižim slojevima na planovima i udaljeni slojevi zakrenuti uvis ako su najniži i najviši slojevi te bliski i udaljeni slojevi prikazani na istoj skici	3766
04.1	Duga crtkano-točkasta uska crta 	.1	tragovi presječne ravnine (crte 04.2 na krajevima i promjena pravca)	-
		.2	središnjice	-
		.3	simetrale (osi simetrije)(označene na krajevima s dvije uske kratke paralelne crte nacrtane u pravom kutu)	-
		.4	uokvirivanje povećanih detalja	-
		.5	referentne crte	-
		.6	granice djelomičnih ili prekinutih pogleda, rezova i presjeka (posebice za kratke crte, vidi primjere na slici 7.50.: 01.1.2, 01.2.1, 01.3.1 itd.)(alternativno, vidi 01.1.14)	-
04.2	Duga crtkano-točkasta široka crta 	.1	tragovi presječne ravnine (crte 04.1 na krajevima i promjena pravca)	-
		.2	konture vidljivih dijelova smještenih ispred presječne ravnine	-
04.3	Duga crtkano-točkasta posebno široka crta 	.1	sekundarne crte za postavljanje (polaganje) i proizvoljne referentne crte	4463-1 i 4068
		.2	označavanje crta ili površina na koje se odnosi primjena posebnih zahtjeva	-
		.3	granične crte za skupine, stupnjeve, faze, pojaseve itd.	-
05.1	Duga crtkano-dvostruko-točkasta uska crta 	.1	moгуći i krajnji položaji pokretnih dijelova	-
		.2	težišnica	-
		.3	konture susjednih dijelova	-
05.2	Duga crtkano-dvostruko-točkasta široka crta 	.1	konture nevidljivih (skrivenih) dijelova smještenih ispred presječne ravnine	-
05.3	Duga crtkano-dvostruko-točkasta posebno široka crta 	.1	pojačane (armirane) prenapregnute pregrade i izolirani električni vodovi (kabeli)	3766
07.1	Točkasta uska crta 	.1	konture dijelova koji nisu uključeni u projekt	-

Tablica 7.9. Vrste crta i njihova širina (ISO 128-23)

Širina crta, mm				
Skupina crta	Uska crta	Široka crta	Posebno široka crta	Širina crta za grafičke simbole
0,25	0,13	0,25	0,50	0,18
0,35	0,18	0,35	0,70	0,25
0,50	0,25	0,50	1,00	0,35
0,70	0,35	0,70	1,40	0,50
1,00	0,50	1,00	2,00	0,70

Tablica 7.10. Crte na konstrukcijskim crtežima prema normi ISO 128-24
(veza sa slikama 7.51., 7.52. i 7.53.)

Oznaka crte	Opis i prikaz crte	Primjena	Veza s ISO
01.1	Neprekidna uska crta 	.1 zamišljena crta presjeka	-
		.2 mjernice	129
		.3 produžene crte	129
		.4 pomoćne mjerne crte i referentne crte	128-22
		.5 iscrtavanje (šrafiranje)	128-50
		.6 konture zakrenutih presjeka	128-40
		.7 kratke simetrale	-
		.8 korijen navoja vijaka i matica	6410-1
		.9 početak i završetak mjernica	129
		.10 dijagonale za označavanje ravnih ploha	-
		.11 crte savijanja na nesavijenim i savijenim dijelovima	-
		.12 zaokruživanje detalja	-
		.13 označavanje ponavljanja detalja (npr. korijeni ili podnožni promjer zupčanika)	-
		.14 crta blagih prijelaza	3040
		.15 položaj laminiranja	-
		.16 zrake projiciranja	-
		.17 mrežne crte	-
	Neprekidna uska prostoručna crta 	.18 ručno crtani prikazi završetaka djelomičnih ili prekinutih pogleda, rezova i presjeka, ako granica nije simetrala ili središnjica* (odnosno lomne crte za sve vrste materijala)	-
	Neprekidna uska crta s cikcakom 	.19 strojno crtani prikazi završetaka djelomičnih ili prekinutih pogleda, rezova i presjeka, ako granica nije simetrala ili središnjica*	-
01.2	Neprekidna široka crta 	.1 vidljivi bridovi (rubovi)	128-30
		.2 vidljive konture	128-30
		.3 vrhovi navoja	6410-1
		.4 završeci navoja	6410-1
		.5 glavni prikazi u dijagramima, mapama, dijagramima toka	-
		.6 sustavne crte (metalne konstrukcije)	5261
		.7 crte spoja kod odljevaka (otkivaka) u pogledu	10135
		.8 crte strelica za označavanje rezova i presjeka	128-40
02.1	Crtkana uska crta 	.1 nevidljivi (skriveni) bridovi	128-30
		.2 nevidljive (skrivenne) konture	128-30
02.2	Crtkana široka crta 	.1 označavanje dopuštenih područja površinske obrade (npr. toplinska obrada)	-
04.1	Duga crtkano-točkasta uska crta 	.1 središnjice	-
		.2 simetrale (osi simetrije)	-
		.3 diobene kružnice zupčanika	2203
		.4 diobene kružnice provrta ili rupa	-
04.2	Duga crtkano-točkasta široka crta 	.1 označavanje ograničenih ili zahtijevanih područja površinske obrade (npr. toplinska obrada)	-
		.2 položaj presječnih ravnina	128-40
* preporuča se uporaba samo jedne vrste crta za ovu namjenu na istom crtežu			

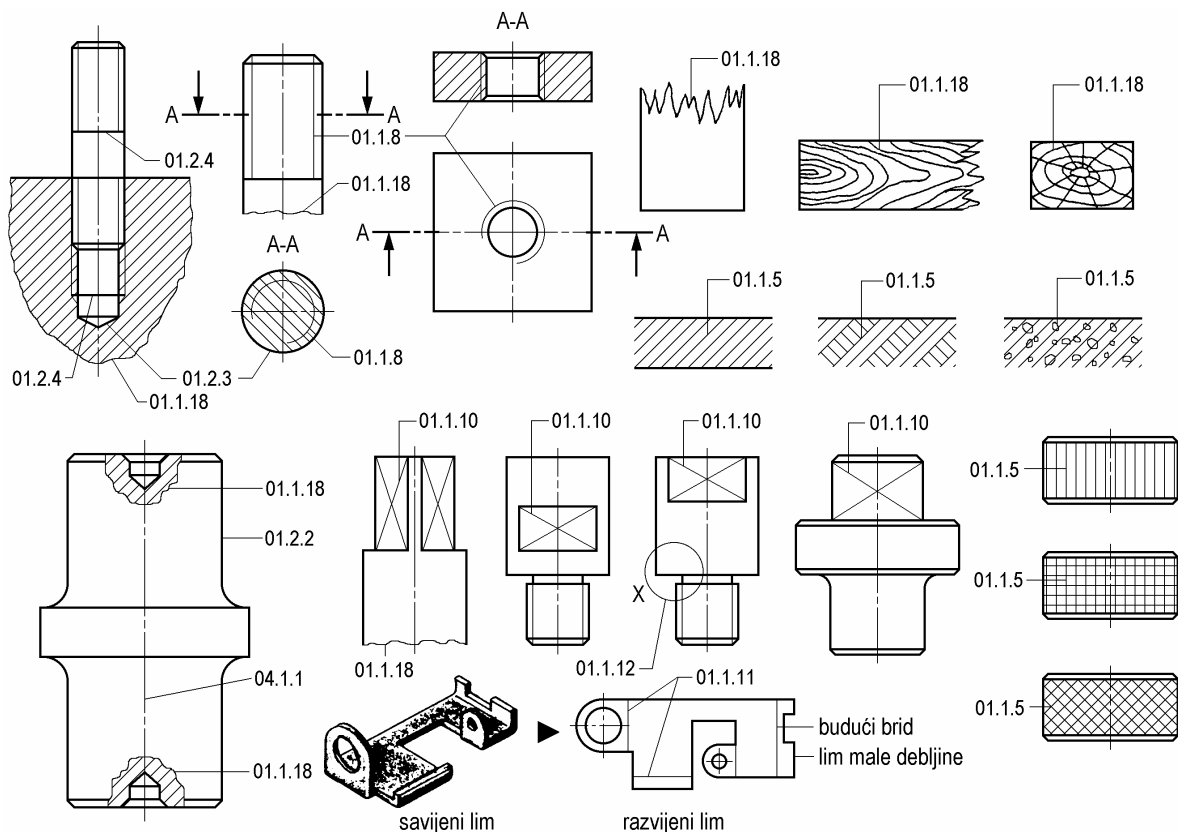
Tablica 7.10. Crte na konstrukcijskim crtežima prema normi ISO 128-24
(veza sa slikama 7.51., 7.52. i 7.53.)(nastavak)

Oznaka crte	Opis i prikaz crte	Primjena	Veza s ISO
05.1	Duga crtkano-dvostruko-točkasta uska crta -----	.1 konture susjednih dijelova	-
		.2 krajnji položaji pokretnih dijelova	-
		.3 težišnice	-
		.4 polazne konture pri oblikovanju	-
		.5 dijelovi smješteni ispred presječne ravnine	-
		.6 konture alternativnih izvedbi	-
		.7 konture gotovog dijela unutar polaznog materijala	10135
		.8 uokvirivanje posebnih polja/područja	-
		.9 istureni tolerancijski pojas	10578

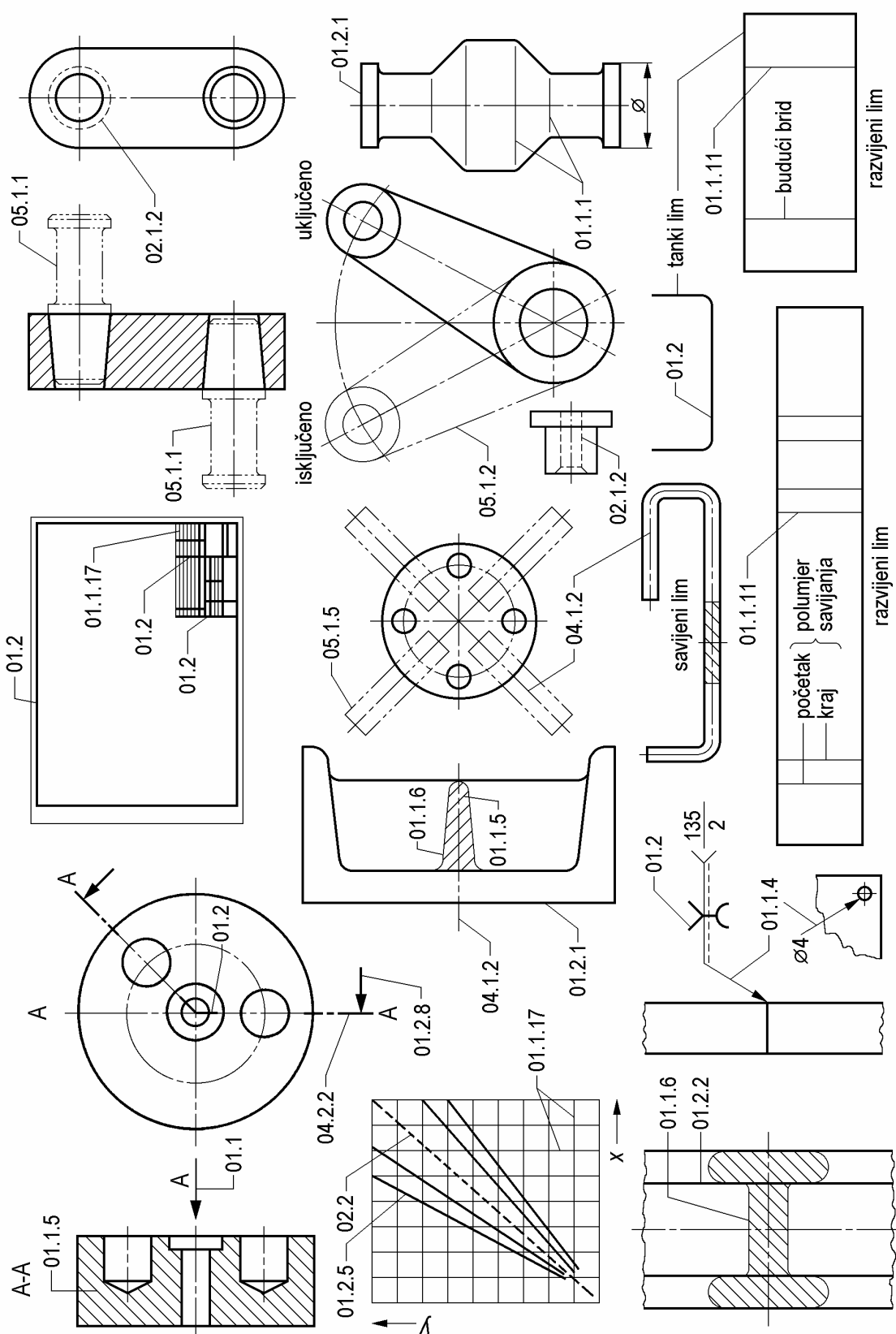
Tablica 7.11. Vrste crta i njihova širina (ISO 128-24)

Skupina crta	Širina crta, mm	
	Širina crte za crtu oznake	
	01.2 – 02.2 – 04.2	01.1 – 02.1 – 04.1 – 05.1
0,25	0,25	0,13
0,35	0,35	0,18
0,50*	0,50	0,25
0,70*	0,70	0,35
1,00	1,00	0,50
1,40	1,40	0,70
2,00	2,00	1,00

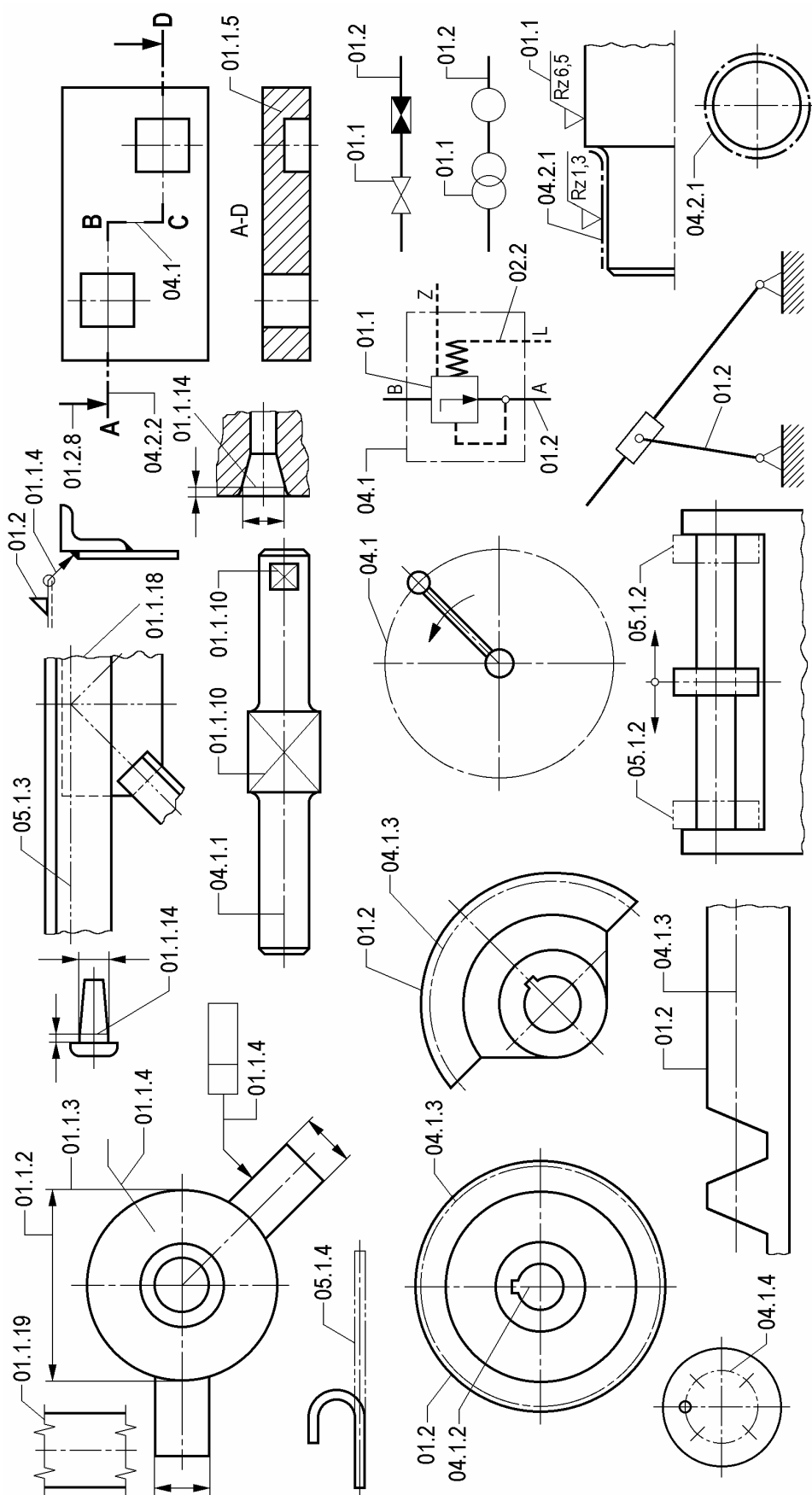
* preporučuju se skupine crta



Slika 7.51. Primjeri primjene vrsta crta (veza s tablicom 7.10.) [18]



Slika 7.52. Primjeri primjene vrsta crta (veza s tablicom 7.10.) [18]



Slika 7.53. Primjeri primjene vrsta crta (veza s tablicom 7.10.) [18]

7.6. Tehničko pismo

Završna faza u izradi svakog tehničkog crteža jest njegovo opisivanje. Pod opisivanjem se podrazumijeva upisivanje kotnih brojeva (izmjera), upisivanje odgovarajućih primjedbi i podataka, ispisivanje zaglavlja i sastavnica i tome slično. Tehničko pismo propisano je normom ISO 3098/1, koja se u prvom redu odnosi na ispisivanje uz pomoć šablona za tehničko pismo (slika 7.54.), no može se primijeniti i za ispisivanje rukom.



Slika 7.54. Primjer ispisa tehničkog pisma prema ISO 3098/1 tipa B (uspravno) i tipa A (koso)

U primjeni su tehnička pisma tipa A (koso - nagnuta udesno pod kutom od 75° u odnosu na vodoravni pravac) i tipa B (uspravno – pod kutom od 90° u odnosu na vodoravni pravac). Dakle, oba su tipa jednako vrijedna i prepušteno je na volju crtaču koji će tip pisma primijeniti u opisu tehničkog crteža. Preporuka je da se za opisivanje crteža i dokumentacije koja će biti arhivirana, posebno mikrofilmovana, ispisivanje obavi uspravnim tehničkim pismom. Na slici 7.55. prikazana su slova tehničkog uspravnog pisma tipa B prema ISO 3098/1, koja su ispisana u mrežici kako bi se mogle uočiti sve dimenzije slova. Ovaj standard definirao je i često rabljena slova grčkog alfabeta prema ISO 3098/2. Dodatak standardu ISO 3098/1 jesu slova hrvatske abecede: Đ, Č, Ć, Š, Ž, đ, č, ć, š, ž.

Koliko je važno da se crtež točno i lijepo nacrtaj, isto toliko je važno i lijepo i uredno opisivanje i kotiranje crteža. Jedna nejasna kota ili riječ mogu prouzročiti velike materijalne štete. Stoga je potrebno da svaki konstruktor, inženjer ili tehničar, pa na koncu i crtač potpuno ovladaju tehničkim pisanjem.

Oblik slova jednostavan je i skladan, a odabran je tako da se može vrlo lako i brzo naučiti. Tehničko pismo pisalo se redis-perima, cjevčicama, grafos-perima niza 0, a sitna slova kotir-perima. Danas se uglavnom rabe šablone za pisanje i

crtanje. Pri pisanju je potrebno posebno paziti na čistoću pera pa se preporuča često čišćenje vlažnom platnenom krpicom.



Latinično uspravno pismo ISO 3098/1 tip B

Grčko uspravno pismo ISO 3098/2 tip B

Slika 7.55. Primjeri tehničkog pisma prema ISO 3098

Visina slova koja se koriste za jedan crtež ovisi o namjeni crteža, veličini crteža, veličini pokazanog predmeta, značenju natpisa i raspoloživom prostoru. Sukladno visini slova odabiru se i širine crta tih slova. Na konstrukcijskim crtežima za glavne natpise koriste se slova visine 6, 8 i 10 mm, za pomoćne natpise koriste se slova 4, 5 i 6 mm, a za sporedne natpise i kotne brojeve koriste se slova visine od 2 do 5 mm. Visina velikih i malih slova ne može biti ispod 2,5 mm, a niz nazivnih visina slova izveden je s faktorom porasta $\sqrt{2}$ (vidi tablicu 7.12.).

Što se tiče konstrukcije slova, tehničko se pismo može izvoditi na više načina. Tako se za posebno potrebnu točnost i veća slova primjenjuje mreža od sedmina visine. U slučaju potrebe da se veća slova smjeste u sredinu reda (kod naslova i slično), primjenjuje se okvir za svako slovo pojedinačno u potrebnoj širini i razmaku. Za manje nazivne visine slova izvlače se paralelne crte između kojih se piše tekst. U ovom slučaju mogu se izvući paralelne crte na posebnom papiru (obično hamer papiru), koji se stavlja ispod lista na kome će se ispisivati tekst. Uvježbani ispisivač (pisač teksta) za tekst male visine upotrebljava samo izvučenu crtu na koju upisuje tekst. Početnici najviše upotrebljavaju mrežu izvučenu tušem na posebnom tvrdom papiru, a vježbe u ispisivanju slova mogu provoditi na prozirnom papiru. Početnici mogu izvoditi vježbe primjenom kariranog papira.

Posebno je važno da početnici posebno paze na pravilno pisanje, jer se “naučene” pogreške teško ispravljaju. Zbog toga vježbe pisanja treba obavljati lagano i sustavno, a za vježbu treba pisati ista slova druge nazivne visine, kasnije i riječi od poznatih (uvježbanih) slova i napokon tekst u različitim visinama.

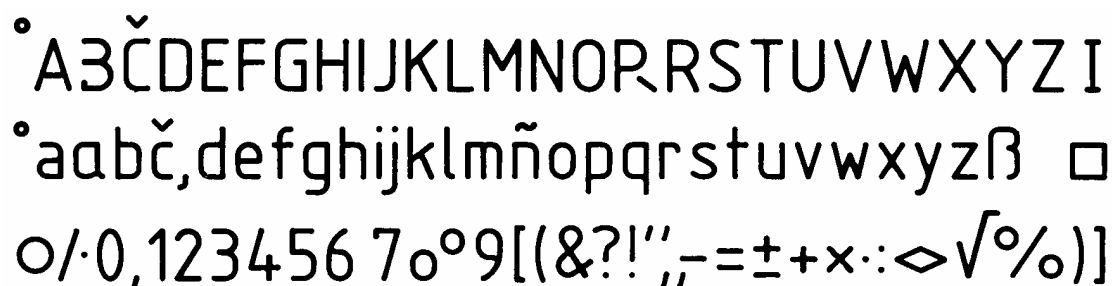
Tablica 7.12. Dimenzije kosog i uspravnog tehničkog pisma ISO 3098/1 (tipa A i tipa B)

Vrsta pisma		Širina d	Izgled								
Tip A	$h/14$	koso									
		uspravno									
Tip B	$h/10$	koso									
		uspravno									
Visina slova h i c ne smiju biti manja od 2,5 mm. Niz nazivnih visina slova h izveden je s faktorom porasta $\sqrt{2}$.											
Karakteristike			Omjer	Dimenzije, mm							
Visina	velikih slova i brojeva	h	$(14/14) \cdot h$	2,5	3,5	5	7	10	14	20	
			$(10/10) \cdot h$								
	malih slova	c	$(10/14) \cdot h$	-	2,5	3,5	5	7	10	14	
			$(7/10) \cdot h$								
Razmak	slova i brojevi	a	$(2/14) \cdot h$	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	
			$(2/10) \cdot h$	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	
	redova	b	$(20/14) \cdot h$	3,5	5	7	10	14	20	28	
			$(14/10) \cdot h$								
	riječi	e	$(6/14) \cdot h$	1,05	1,5	2,1	3	4,2	6	8,4	
			$(6/10) \cdot h$	1,5	2,1	3	4,2	6	8,4	12	
Širina crta		d	$(1/14) \cdot h$	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	
			$(1/10) \cdot h$	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2	

Pri vježbanju ispisivanja slova osnovno je uvježbati i prihvatiti nagib (za kosa slova), a potom uvježbati ispisivanje slova različite visine i širine (uska, normalna i široka slova). Uputno je da početnici, posebno oni kojima tehničko pismo ide teže, pišu tekst najprije i duže vrijeme olovkom. Radi lakšeg i bržeg usvajanja pisanja tehničkog pisma početnici će slova istih osnova grupirati i ispisivati po fazama. Tako će na primjer riječ “Češće” napisati u prvoj fazi u obliku “Ooooo” jer su slova navedene riječi pisana na bazi slova o-O.

[. ÄBCDÊFGHIJKLMÑÖPQRSTÜVWXYŽ
 ° äabc,dêfghijklmñöpqrstüvwxyzß□
 I ≡ ∅ 0,123456789 ≡ [(& ? ! , ; - = + ± × : ∙ √ %)]

Slika 7.56. Usko uspravno tehničko pismo prema ISO 3098 1A



Slika 7.57. Srednje uspravno tehničko pismo prema ISO 3098 1B

Već je rečeno da se danas sve rjeđe slova ispisuju kotir-perom, običnim perom i redis-perom, a gotovo isključivo pišu se specijalnim perima, i to s posebnim perom za svaku širinu crte. Međutim, svaki crtač i tehničar trebao bi znati dobro ispisivati slova i tekst rukom. U novije vrijeme na raspolaganju su šablone za sve vrste i veličine slova, pa su šablone sve više u primjeni pri ispisivanju slova (slike 7.56. i 7.57.). Velika slova imaju manje krivina pa se mogu lakše ispisivati rukom nego mala slova. Pri pisanju šablonom ta razlika nije toliko bitna, a duže pisanje šablonom dovodi do postizanja vrlo velike brzine ispisivanja teksta.

Pojavom računala, a posebice osobnih računala, razvijeni su i programski sustavi u koje su uključene i naredbe za opisivanje tehničkih crteža. Opisivanje tehničkih crteža, odnosno pozicioniranje teksta bilo gdje unutar crteža, jedno je od bitnih svojstava CAD sustava. Uobičajeno je dostupno više različitih oblika slova, kojima se može mijenjati veličina i nagib. Tekst se može upisivati s tipkovnice, ili iz datoteka. Za ispis teksta i crteža upotrebljavaju se digitalni crtači (plotteri)(s perima, elektrostatski, termalni, ink-jet ili laserski crtači) ili pisači (printeri) (matrični, laserski ili ink-jet). U usporedbi s klasičnim načinima opisa crteža, opis crteža podržan računalom je puno brži i kvalitetniji, a mogućnosti pogreške u ispisu su minimalne.

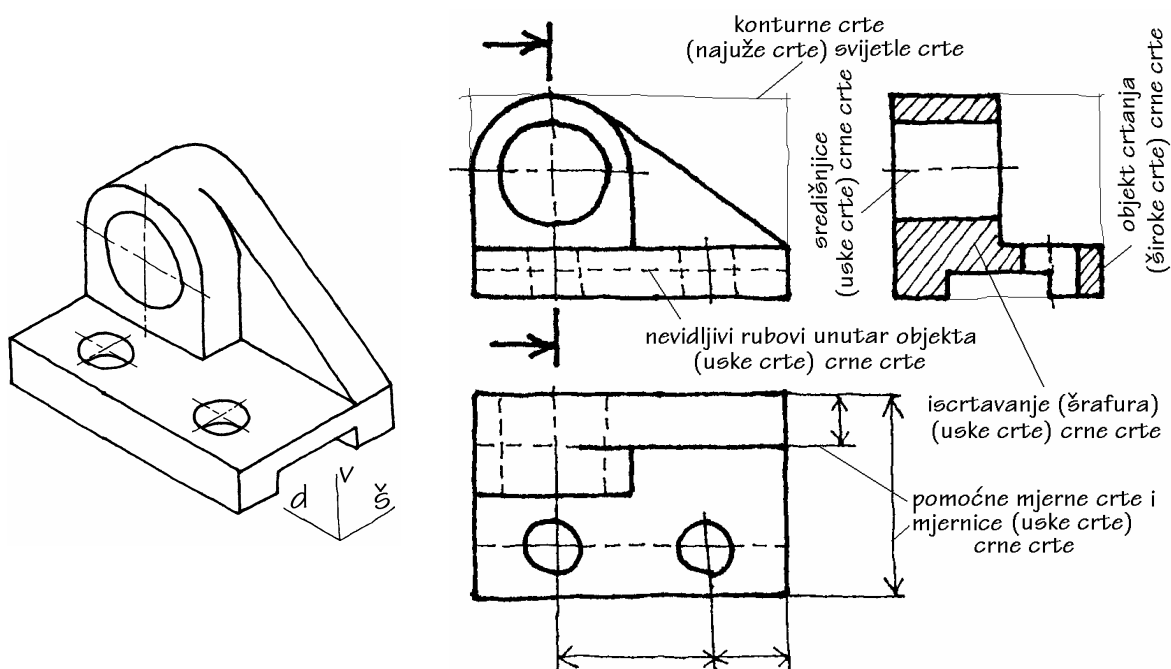
8. Tehničko prostoručno skiciranje

Free-hand Sketching

8.1. Osnovne značajke skiciranja

Grafički jezik u inženjerskom okruženju sastoji se od serija slika i simbola, a koristi se u svakodnevnom komuniciranju idejama i konceptima. Nakon ovih ideja moći će se koncepti i detalji projekta finalizirati, izradit će se točni tehnički crteži proizvoda potrebni za njegovu proizvodnju. Ovi crteži obično nastaju iz skica generiranih tijekom faze planiranja projekta.

Cilj izrade skice jest brzo napraviti grafičko predstavljanje neke ideje, koje može biti lakša komunikacija između suradnika, crtača ili naručitelja. Općenito, ova se skica izrađuje prostoručno, bez pomoći ili uporabe pribora i pomagala koji se uobičajeno koriste u tehničkom crtanju. Primarna potreba izrade skice je prikazivanje vizije prije davanja tehničke informacije. Skice su integralni dio analitičkih kalkulacija u kojima su korištene za definiranje fizikalnih objekata koji se analiziraju. Iz ovog razloga skice služe za prikazivanje vanjskog izgleda objekta, s manjim naglašavanjem skrivenih ploha ili značajki, iako ih po potrebi treba uključiti. Skica služi također i kao neposredna grafička komunikacija, često crtana pod promjenjivim uvjetima kao što je to na radilištu, u radionici ili na poslovnom sastanku (slika 8.1.).



Slika 8.1. Prostorno nacrtana ravninska i prostorna skica objekta s opisom uobičajeno korištenih debljina, odnosno intenziteta crta

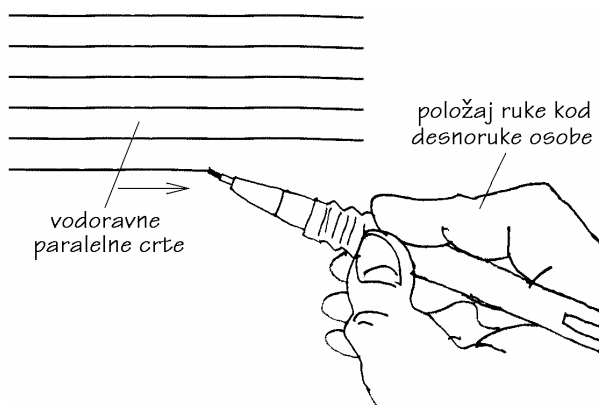
Prostorno skiciranje je postupak izrade tehničkog crteža (po svim pravilima tehničkog crtanja) prostom rukom, bez uporabe pomoćnog pribora (trokuta, šestara i slično). Ovako dobiven crtež nije crtan u mjerilu, već proporcionalno prema

veličini predmeta (odnosno, odoka). Skiciranje je najčešći način crtanja u tehnici. Primjenjuju ga konstruktori kao prvi prikaz ideje, pogonski tehničari pri snimanju istrošenog ili slomljenog strojnog dijela radi reparature te svaki stručnjak pri tumačenju bilo kakve izvedbe ili pojedine faze rada. Nema te riječi koja bi mogla nadomjestiti crtež, a skica je njegov najjednostavniji oblik.

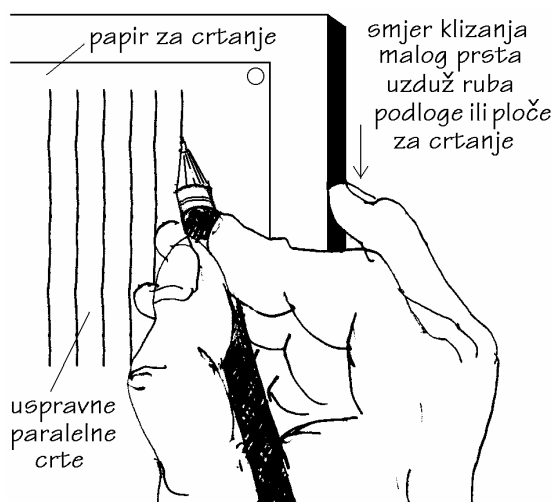
Skiciranje je slično pisanju, vještina koja se razvija vježbom i praksom. U ovom poglavlju pojasnit će se postupci i dati upute kako skicirati djelotvornije, a tehnika i prijedlozi omogućit će dobivanje realističnijih skica u inženjerskoj primjeni. Prednost skiciranja je ta što se ono može obavljati bilo gdje i bilo kada, a jedina stavka potrebna za izradu skice je pribor za pisanje (olovka), papir za crtanje i gumica za brisanje (nije nužna!).

Već je rečeno da je skiciranje proces koji općenito prethodi kreiranju tehničkog crteža na računalu ili na ploči za crtanje. Ovo poglavlje nudi tehniku skiciranja s isključivo kratkim pojašnjenjima vezano za teoriju tehničkog crtanja i detalje teorije projiciranja i nacrtne geometrije, o čemu se više može pronaći u nekim drugim poglavljima ove knjige.

Skiciranje vodoravnih crta. Crte koje se obično koriste za skice uključuju ravne i zakrivljene crte. Ravne crte mogu se svrstati u vodoravne, uspravne (okomite) i kose (nagnute) crte. Normalni način prostoručnog crtanja vodoravnih paralelnih crta je slijeva udesno za desnoruke osobe (slika 8.2.) ili zdesna ulijevo za ljevoruke osobe. Za prostoručno crtanje više jednoliko razmaknutih vodoravnih crta potrebno je dosta vještine.



Slika 8.2. Postupak prostoručnog skiciranja vodoravnih paralelnih crta

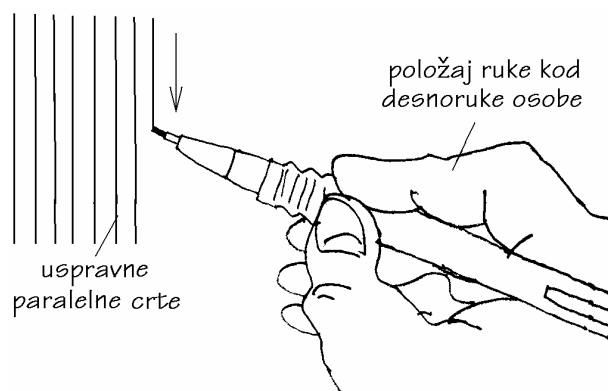


Slika 8.3. Postupak prostoručnog skiciranja uspravnih paralelnih crta uz pomoć malog prsta kao vodicice za održavanje uspravnog pravca (postupak moguć i pri crtanju vodoravnih crta)

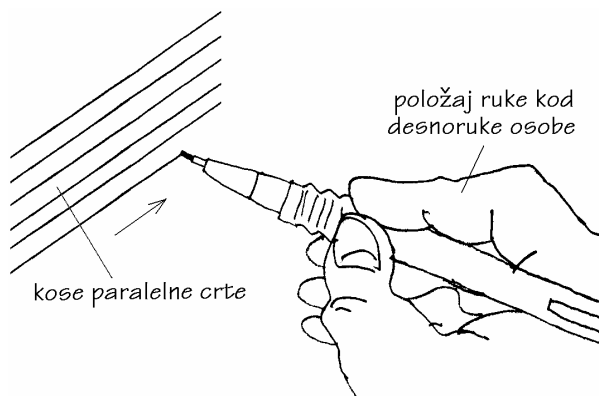
Posebnu pozornost obratiti na to da se izbjegava crtanje lukova ili zakrivljenih crta umjesto vodoravnih crta, što se često događa kada je lakat nepokretan. Stoga je tijekom crtanja vodoravnih crta potrebno pomaknuti cijelu ruku. To je posebice važno kada se skiciraju duge vodoravne crte. Duge vodoravne crte mogu se točnije

skicirati tako da se skicira niz kratkih vodoravnih crta spojenih krajevima. Djelotvorna tehnika prostoručnog crtanja paralelnih crta jest crtanje crta, pri čemu se npr. mali prst koristi kao vodilica klizeći duž ruba crtaće ploče. Pri tome se olovka stavlja na početnu točku, a crta se povlači promatrajući prema krajnjoj točki. Slika 8.3. prikazuje postupak prostoručnog skiciranja uspravnih paralelnih crta uz pomoć malog prsta kao vodilice za održavanje uspravnog pravca (postupak moguć i pri crtanju vodoravnih crta, s time da tada mali prst klizi svojim vanjskim dijelom po vodoravnom rubu crtaće ploče ili se papir zakreće za 90°).

Skiciranje uspravnih crta. Uspravne se crte uobičajeno crtaju odozgo prema dolje. Potrebno je dosta vještine u prostoručnom crtanju podjednako razmaknutih uspravnih crta (slika 8.4.). Rub crtaće ploče i mali prst mogu pomoći u ovom postupku (slika 8.3.).



Slika 8.4. Postupak prostoručnog skiciranja uspravnih paralelnih crta



Slika 8.5. Postupak prostoručnog skiciranja kosih paralelnih crta

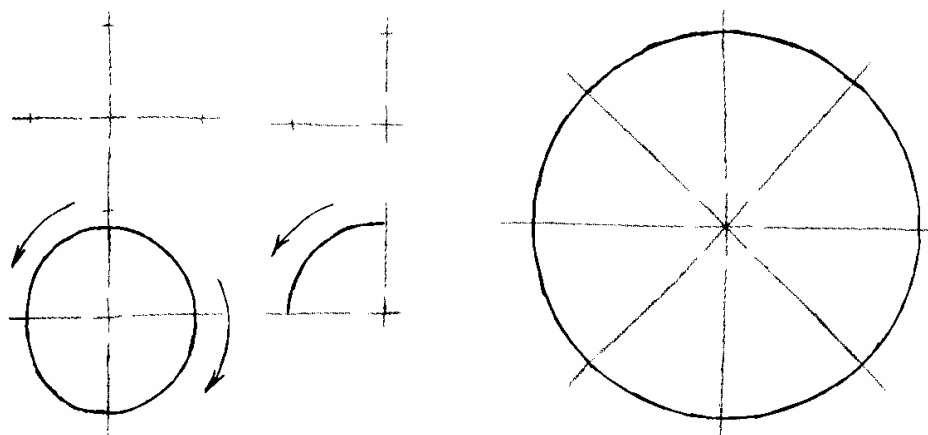
Skiciranje kosih crta. Crte pod kutom ili kose crte skiciraju se odozdo slijeva prema gore udesno. To je udobna pozicija za desnoruke osobe. Manje udobna pozicija i teže su za crtanje kose crte koje se pružaju odozgo slijeva prema dolje udesno. Olakšanje je moguće ako se crtači papir zarotira u položaj u kojemu je udobnije i lakše skicirati ove crte (slika 8.5.).

Skiciranje zakrivljenih crta. Zakrivljene crte prepoznaju se ili kao kružnice, lukovi ili nepravilne krivulje. Kružnice se skiciraju točnije tako da se najprije nacrtaju središnjice, na kojima se zatim označe polumjeri. Ove oznake polumjera oblikuju okvir unutar kojeg se lako može skicirati kružnica¹. Prvo se skicira gornja lijeva strana kružnice (vučenjem olovke u suprotnom smjeru kazaljke na satu), a zatim se skicira donja desna strana kružnice (vučenjem olovke u smjeru kazaljke na satu)(slika 8.6.).

Veće kružnice zahtijevaju i drugi par središnjica zarotiranih za kut od 45° radi povećanja broja oznaka polumjera od četiri na osam. Ako se npr. zahtijevaju četiri luka, crtači papir se zakreće radi kompletiranja zadnja dva kvadranta, a skiciranje lukova slično je skiciranju kružnice. Orijentacija i veličina luka regulirani su

¹ Ovaj je postupak poznat i kao "boxing" ilustracije ili lika [11]

vještinom crtača. Za srednje i velike lukove preporuča se crtanje središnjica i oznaka polumjera.



Slika 8.6. Postupak skiciranja kružnice i kružnog luka [11]

Skiciranje nepravilnih krivulja. Nepravilne krivulje jesu one koje nemaju zadani polumjer zakrivljenosti, a skiciraju se tako da se koriste potezi olovke koji najbolje odgovaraju crtaču. Vrlo uskim ili svijetlim crtama najprije se skicira podloga za točan oblik, a zatim se preko njih povlače široke ili tamne crte radi kompletiranja nepravilne krivulje.

Sredstva za crtanje. Pod sredstvima za crtanje podrazumijevaju se različiti materijali na kojima je moguće izrađivati skice. Tehničke skice najčešće se izrađuju na neprozirnom papiru A4 ili A3 formatu. Skice izrađene na ovom papiru predstavljaju originale koji se mogu kopirati na uobičajenim strojevima za kopiranje koji prihvaćaju originale ovih formata. Osim neprozirnog papira, u nekim slučajevima može se koristiti i prozirni papir (tzv. paus-papir) ili folija za crtanje.

Pribor za skiciranje. Skice se općenito izrađuju crnim crtama grafitne olovke. Opće korištena grafitna olovka je olovka s grafitom broj 2, koja se može koristiti za crtanje i svijetlih (uskih) i tamnih (širokih) crta jednostavnim doziranjem pritiska olovke na crtaći papir. Tijekom procesa potamnjenja, olovka se mora jače pritiskati na papir kako bi se dobila odgovarajuća crnoća konačne skice.

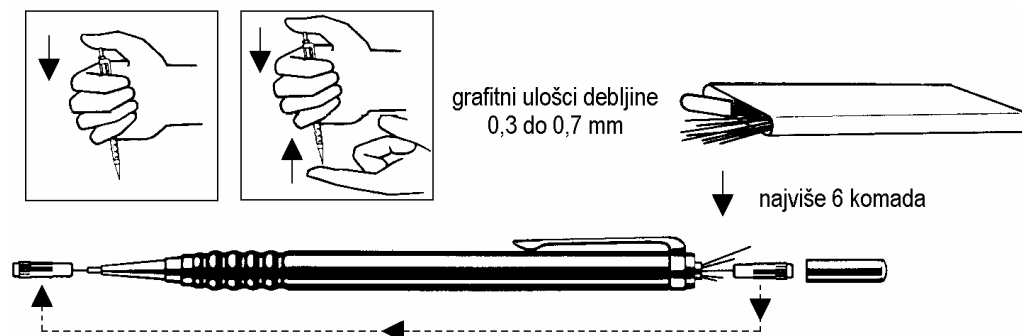
Skice koje se izrađuju uporabom tehničkih olovaka s grafitnim ulošcima crtaju se uobičajeno 2H grafitnim ulošcima. Olovke s tvrdim grafitnim ulošcima smiju se koristiti za konstrukcijske crte, a olovke s mekšim grafitnim ulošcima (2B ili B) za potamnjenje (podebljavanje) crta vidljivih rubova, odnosno nijansiranje ili sjenčanje nakon što je skica dovršena. Suvremene grafitne olovke koje se rabe za tehničke grafike jesu uskocrte mehaničke olovke. Uskocrta olovka od 0,3 mm može se koristiti za konstrukcijske crte, a ona od 0,5 ili 0,7 mm za tamne ugađene crte. Uskocrte olovke ne zahtijevaju šiljilo jer crte poprimaju širinu jednaku promjeru grafitnog uloška (slika 8.7.).

Dakle, za skiciranje se preporuča sljedeći pribor:

- 1) dvije tehničke olovke (s mekim – 2B ili B i srednje tvrdim 2H grafitnim ulošcima),

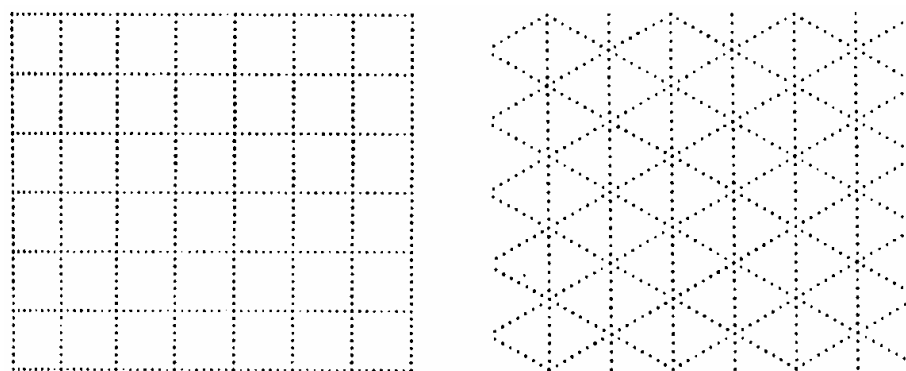
- 2) gumica za brisanje,
- 3) dva trokuta (30° , 60° , 90° i 45° , 45° , 90°),
- 4) šestar te
- 5) bijeli neprozirni papir (A4 ili A3 format).

Pribor pod 3) i 4) upotrebljava se samo iznimno, kada se radi o nevještim crtačima ili crtačima početnicima. Međutim, podebljavanje obvezatno treba obaviti prostoručno.



Slika 8.7. Suvremena uskokrta mehanička olovka za grafitne uloške od 0,3 do 0,7 mm

Pri potamnjivanju (podebljavanju) crta treba imati na umu da će se dobro kopirati samo čiste crte. Debljine crta na skicama detalja trebale bi biti sukladne važećim pravilima o debljinama i vrstama crta. To znači da će vidljive crte objekata biti najšire, skrivene crte bit će srednje širine, a crte kao što su središnjice, mjernice i pomoćne mjerne crte, crte za iscrtavanje presjeka materijala (crte šrafura) itd. bit će uske crte (slika 8.1.). I pri skiciranju je uvriježeno, radi pojednostavnjenja crtanja, koristiti se samo dvjema širinama crta (vidljive crte široke, a sve ostale crte uske).

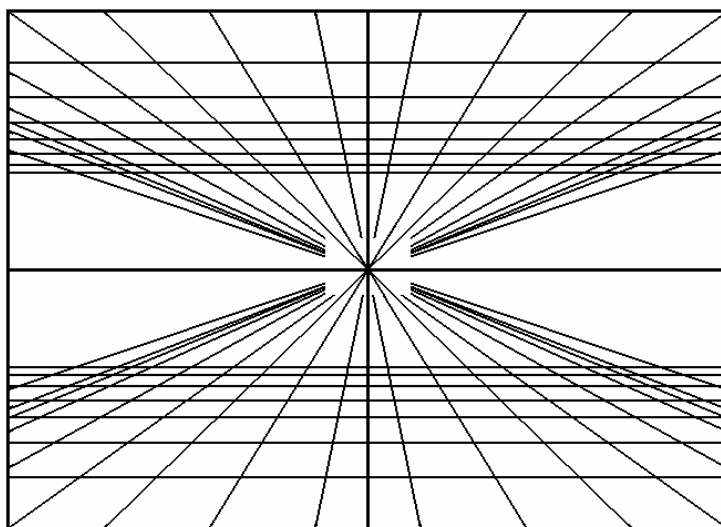


Slika 8.8. Primjer kvadratnih i izometrijskih uzoraka mreža za skiciranje [11]

Mreže za skiciranje. Na nekim papirima za crtanje tiskana je odgovarajuća mreža (grid) uskih, najčešće svijetloplavih crta, koje su velika pomoć osobama koje skiciraju. Općenito su uzorci mreža kvadratni ili izometrijski (slika 8.8.). Mreže se tiskaju i na neprozirnom i na prozirnom papiru. Posebno tiskana mreža je

tzv. izostajuća mreža². Ona se sastoji od tiskanih svijetloplavih uskih crta ili točkica na prozirnem papiru ili posebnoj foliji za crtanje. Služi kao vodič osobama koje skiciraju, ali kada se original kopira, ona se neće kopirati (izostaje) i na kopiji se vidi samo skica. Ovo je od velike pomoći u izradi bolje izglednih prostoručnih crteža.

Prozirni papir ili posebna folija za crtanje može se staviti povrh mreže tiskane na neprozirnem papiru, koja tada služi kao vodič crtaču tijekom procesa skiciranja. Na taj se način može koristiti bilo koja tiskana mreža ili mreža nacrtana pomoću pribora za crtanje, kao podloga za skiciranje (npr. takva je mreža za crtanje perspektive vanjskih i unutarnjih pogleda pod različitim kutovima, slika 8.9.).



Slika 8.9. Primjer uzoraka mreže za skiciranje perspektive

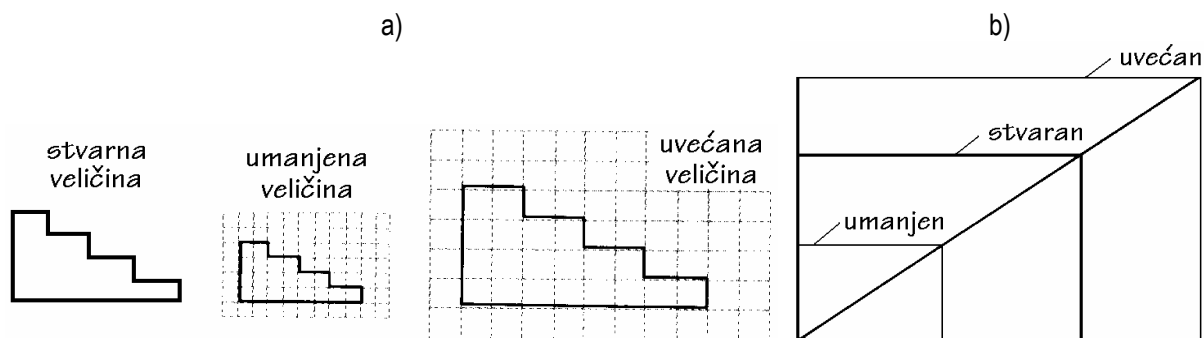
Razni blokovi s npr. kvadratnim ili sličnim mrežama mogu se također koristiti za skiciranje raznih inženjerskih skica, ali tako da se poledina koristi za skiciranje. Mreža se obično dovoljno prozire i pomaže crtaču pri skiciranju, a pri čestom brisanju crte mreže neće biti oštećene ili obrisane.

Značenje crta. Značenje crta odnosi se na njihovu crnoću (tamnoću) ili širinu. Vrlo svijetle ili uske crte, koje se koriste za skiciranje veličine, proporcije i položaja, zovu se ili crte rasporeda, ili planske crte, ili konstrukcijske crte. One su tako svijetle ili uske da će se jedva ili se neće pojaviti kod standardnih procesa kopiranja. Konstrukcijske crte jesu crte koje se prve crtaju, a nakon što je oblik objekta skiciran, crte se uglađuju. To znači da se vidljive crte potamnjuju s crnim punim crtama. Skrivenne crte predstavljaju nevidljive rubove ili plohe i crtaju se crnim isprekidanim (crtkanim) crtama. Ako su originalne konstrukcijske crte nacrtane dovoljno svijetlo ili usko, nije ih potrebno izbrisati nakon što je skica potamnjena (podebljana) i uglađena (slika 8.1.).

Uvećanje i umanjeње uz pomoć mreže. Za uvećanje i umanjeње skicirane slike

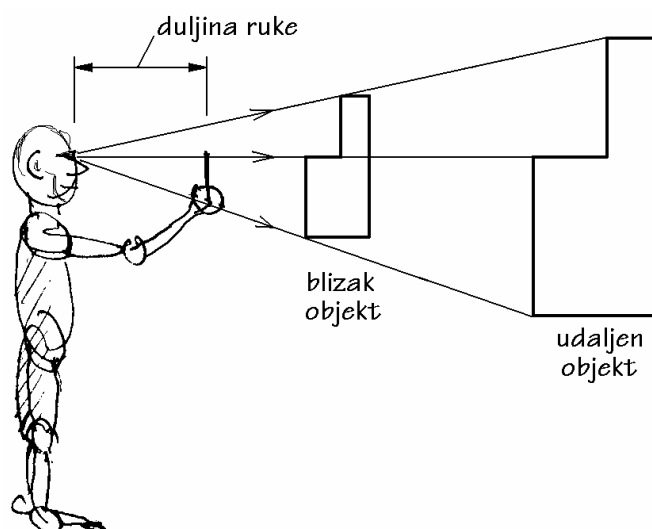
² dropout grid

može se koristiti nekoliko metoda. Jedna od najlakših je uvećanje ili umanjenje veličine slike, posebice ako je original izrađen na mreži, konstruiranjem veće ili manje mreže u koju se jednostavno unosi dovoljno točaka za rekonstrukciju originalne slike (slika 8.10.a).



Slika 8.10. Umanjenje i uvećanje stvarne veličine uz pomoć mreže (a) i uz pomoć dijagonale pravokutnika [18]

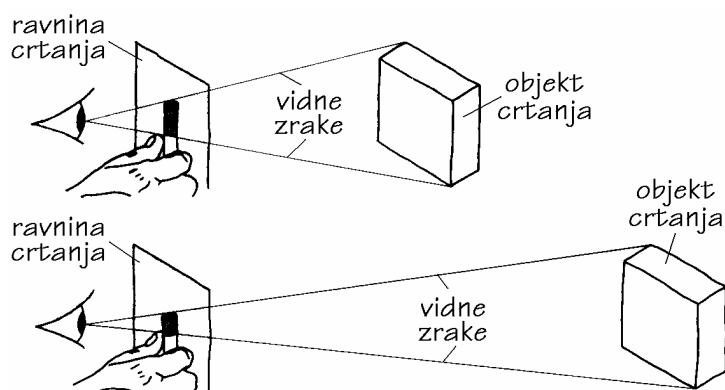
Uvećanje i umanjenje uz pomoć dijagonale pravokutnika. Pri skiciranju uvećanja ili umanjenja može pomoći dijagonala pravokutnika. Ako je produljena dijagonala nacrtana kroz suprotne kutove danog pravokutnika, moguće je lako konstruirati proporcionalno uvećan ili umanjen pravokutnik (slika 8.10.b).



Slika 8.11. Postupak umanjenja i uvećanja pomoću držanja olovke na udaljenosti duljine ruke od oka crtača

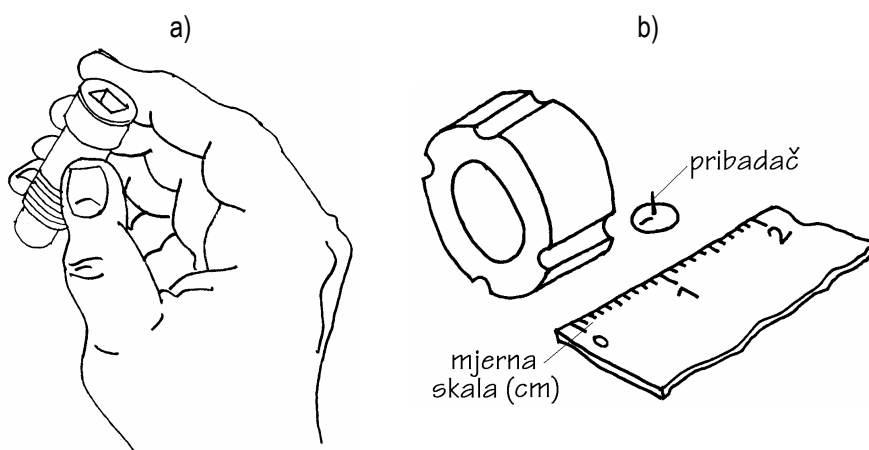
Uvećanje i umanjenje uz pomoć promjene žarišne udaljenosti od objekta do ravnine crtanja. Skiciraju li se veliki objekti u naravi s udaljenosti, većina proporcija može se prenijeti na ravninu crtanja pomoću držanja olovke na udaljenosti duljine ruke od oka crtača (slika 8.11.). Ovaj način pomaže u procjeni proporcije visina zgrada, hala, mostova ili drugih velikih objekata. Veća žarišna

udaljenost³ između objekta i ravnine crtanja rezultirat će kraćom visinom objekta na skici (slika 8.12.).



Slika 8.12. Veća žarišna udaljenost između objekta i ravnine crtanja rezultirat će kraćom visinom objekta na skici [11]

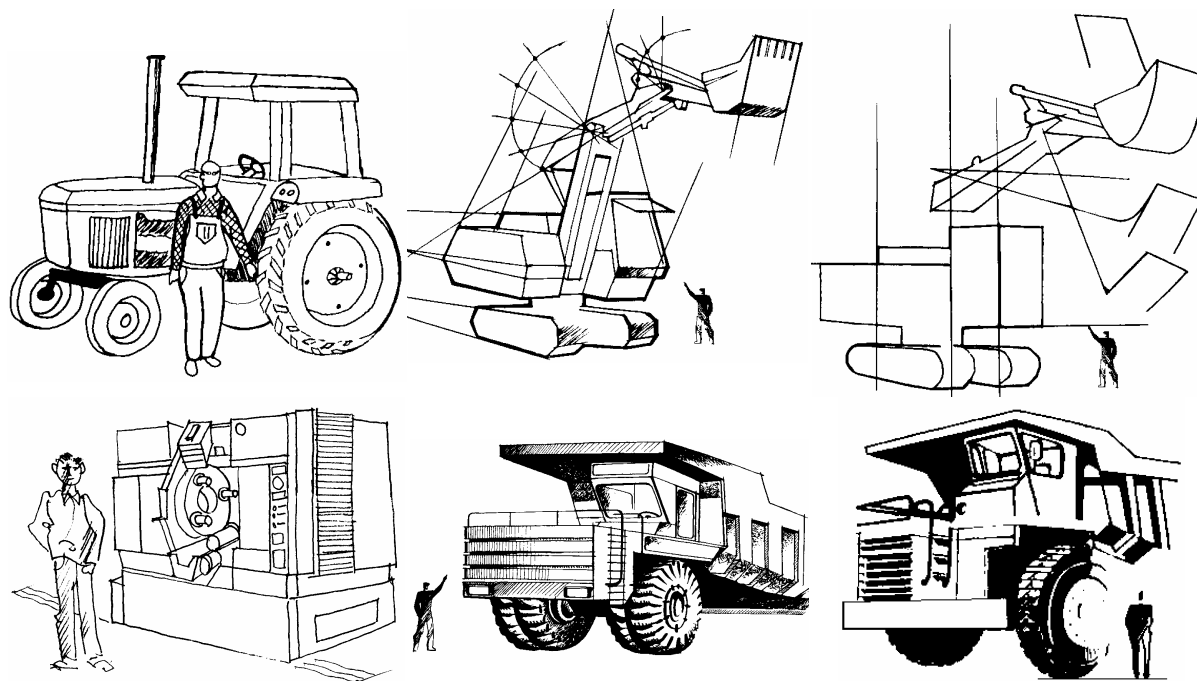
Skiciranje malih objekata s rukom za proporciju. Ako se žele prikazati male objekti, rabi se vrlo jednostavna tehnika skiciranja da ih se skicira u usporedbi s rukom. Naime, vrlo često nije moguće dobiti osjećaj veličine objekta isključivo iz skice njega samog, posebice ako je skiciran bez izmjera u naravi. Asocijacija veličine lako se ilustrira prikazivanjem ruke koja drži promatrani objekt (slika 8.13.). Umjesto ruke mogu se iskoristiti i drugi srodni objekti, kao što su npr. olovka ili mjerna skala.



Slika 8.13. Relativna proporcija malih objekata postiže se njihovim crtanjem u ruci (a), pored predmeta kojemu je poznata veličina ili pored mjerne skale (b)

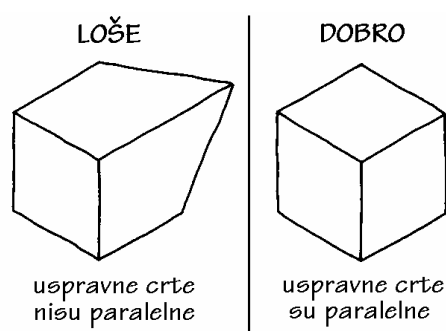
Pri skiciranju velikih objekata, npr. građevinskih strojeva, alatnih strojeva, procesnih postrojenja ili građevina, relativna proporcionalnost može se postići crtanjem ljudske figure u blizini ili ispred objekta koji se skicira (slika 8.14.).

³ fokusna udaljenost



Slika 8.14. Relativna proporcija velikih objekata postiže se crtanjem ljudske figure u blizini ili ispred objekta koji se crta

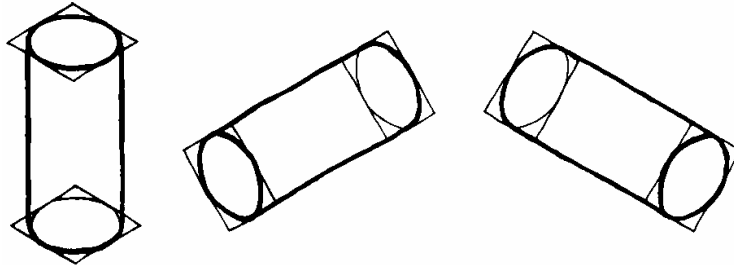
Skiciranje geometrijskih tijela. Važno je još u samom početku naučiti točno skicirati dvodimenzijske i trodimenzijske oblike. Jedan pristup skiciranja objekta jest pretpostaviti da su sve komponente koje čine oblik sklopa ili skupa jednostavno kolekcija kontura različitih osnovnih oblika. Ti su oblici usporedivi s kockama, pravokutnim tijelima, valjcima, stošcima i piramidama. Kada se crta kocka ili pravokutno tijelo, važno je da stranice moraju izgledati paralelno i na skici (uspravne crte uvijek su uspravne iako se one pod kutom mogu razlikovati) (slika 8.15.).



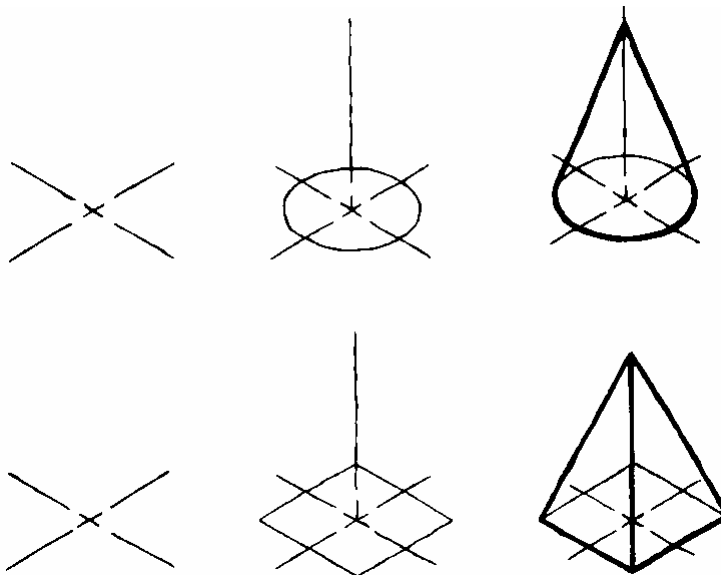
Slika 8.15. Sve uspravne crte moraju biti paralelne ili će se dobiti kriva slika objekta [11]

Pri skiciranju valjka također se mora zadovoljiti paralelnost crta koje predstavljaju konturu plašta. To se najlakše postiže skiciranjem konstrukcijskih crta koje određuju oba kraja valjka, a potom spajanjem krajnjih ploha (slika 8.16.). Za crtanje stošca ili piramide treba prvo nacrtati središnjice osnovice, nakon toga

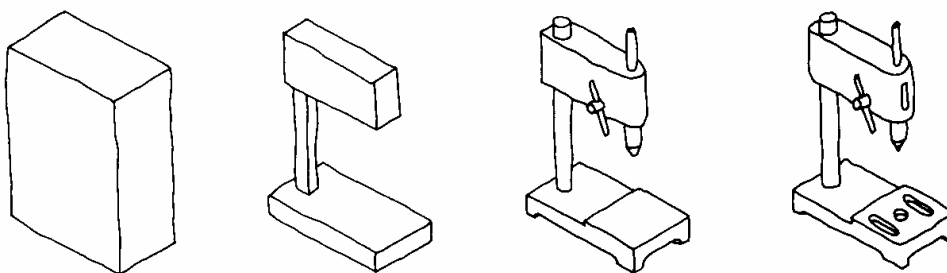
visine i na koncu stranice, odnosno plašt (slika 8.17.). Uporabom skraćenog postupka skiciranja konstrukcijskih ili planskih crta lako je skicirati svaki objekt u samo četiri faze (slika 8.18.).



Slika 8.16. Odrediti krajeve valjka i spojiti elipse paralelnim crtama radi kompletiranja valjka [11]



Slika 8.17. Faze skiciranja stošca i piramide [11]



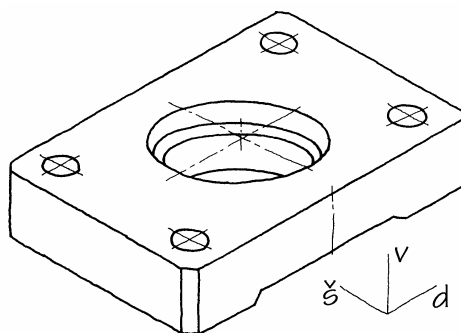
Slika 8.18. Skraćeni postupak skiciranja u četiri faze [11]

Vrlo dobra vježba za poboljšanje tehnike tehničkog prostoručnog skiciranja je skiciranje osnovnih geometrijskih oblika opetovano sve dok se dobro ne ovlada svim fazama skiciranja. Vježbom se razvija i brzina skiciranja.

8.2. Postupak pri prostoručnom skiciranju

Konstruktor koji je vježbom stekao potreban osjećaj za prostor stvara predodžbu predmeta u glavi i tu ideju stavlja na papir. Početnik nema još potreban osjećaja, on skicira različite modele. Djelatnik koji mora čitati crtež dobiva pojam o projekcijama, uči pravila tehničkog crtanja i skiciranja prema modelima. Tehničar, uz navedeno, na osnovi skica izrađuje crteže jer mora steći rutinu u izvođenju različitih crteža. Svima je, dakle, zajedničko skiciranje po modelu. Treba utvrditi postupak rada, tj. redoslijed po kojemu treba postupati kako bi se izradila skica nekog strojnog dijela. Kao što je zaposlenik u proizvodnji vezan na određeni red koji je najpodesniji i najekonomičniji, tako se i crtač mora držati stanovitog reda da mu posao uspije bolje i ljepše. Postupak pri prostoručnom skiciranju kod ravninske predodžbe odvija se redoslijedom koji je dan na slikama od 8.19. do 8.28. [18].

Prva faza skiciranja (slika 8.19.) je utvrđivanje položaja predmeta za crtanje, broja potrebnih projekcija i simetričnost predmeta, zaključivanje hoće li se crtati presjek te kako će se voditi presječne ravnine. Svi se podaci unose u plan (tablicu za plan, slika 8.29.).

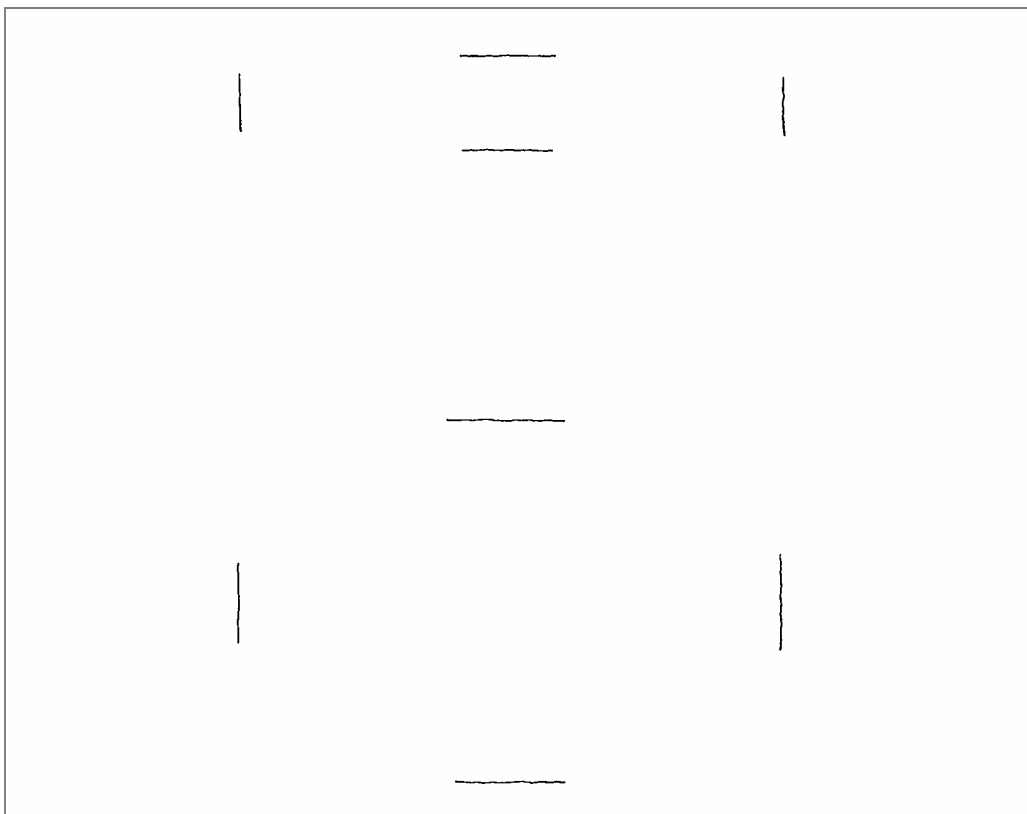


Naziv i vanjske izmjere	Poz.	Položaj za N(nacrt)	Ortog. proj. u pogl. i presj.	Prost. predo.	Simet.	Materijal
Donja ploča 75 x 50 x 15	1		Npr. T	I	2x	Č4143

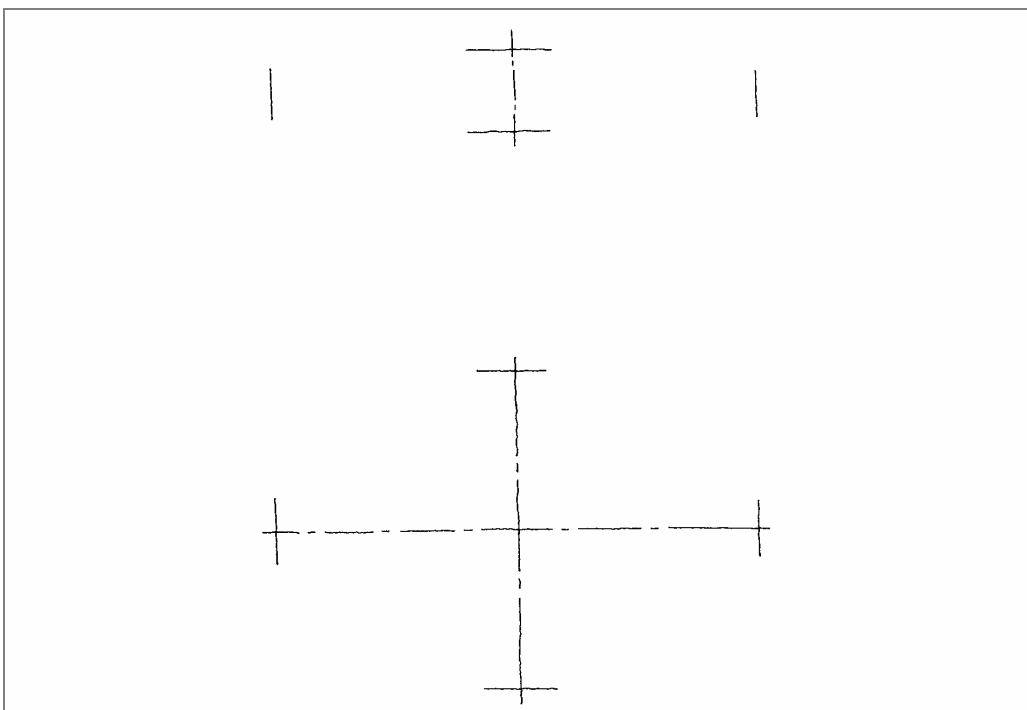
Slika 8.19. Prva faza skiciranja

Druga faza skiciranja (slika 8.20.) je utvrđivanje veličine prostora u kojem će se predmet crtati, a da sve projekcije (planirane u prvoj fazi) stanu na isti list papira ili zadani format. Radi toga treba odabrati neku najvažniju mjeru kao jedinicu ili odrediti veličinu za 1 cm i odrediti glavne dimenzije predmeta u svakoj projekciji vodeći računa o dimenzijama koje se vide u pojedinim projekcijama. Također treba predvidjeti prostor za smještaj kota i crtanje projekcija na dovoljnoj međusobnoj udaljenosti.

Treća faza skiciranja (slika 8.21.) svodi se na povlačenje glavnih simetrala tvrdom olovkom u svim projekcijama u kojima je predmet simetričan.



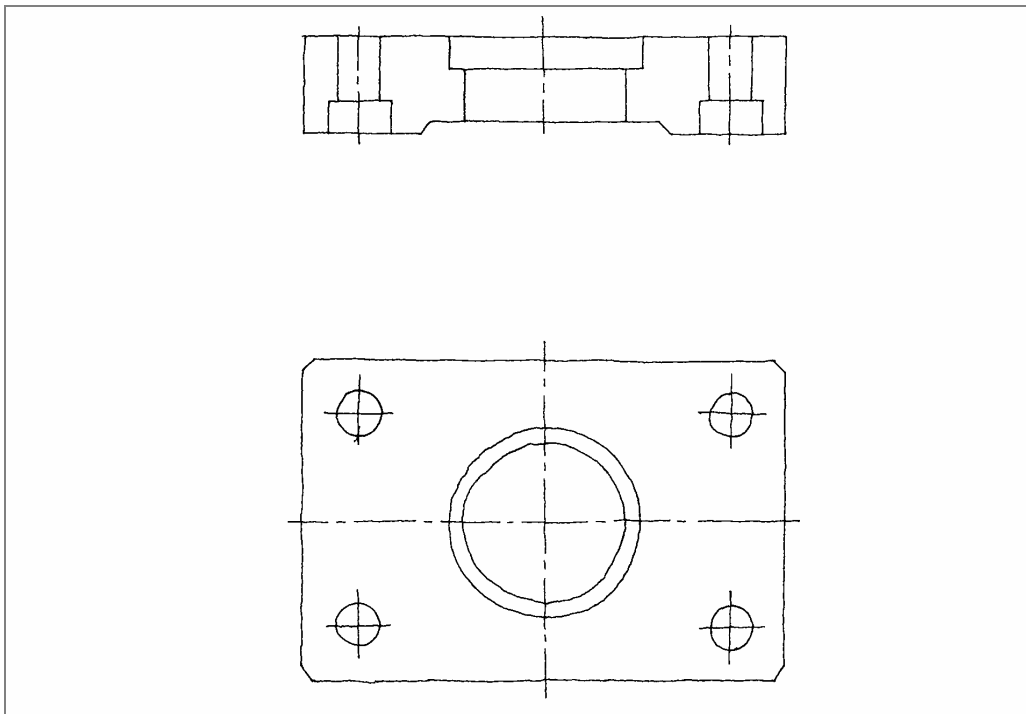
Slika 8.20. Druga faza skiciranja



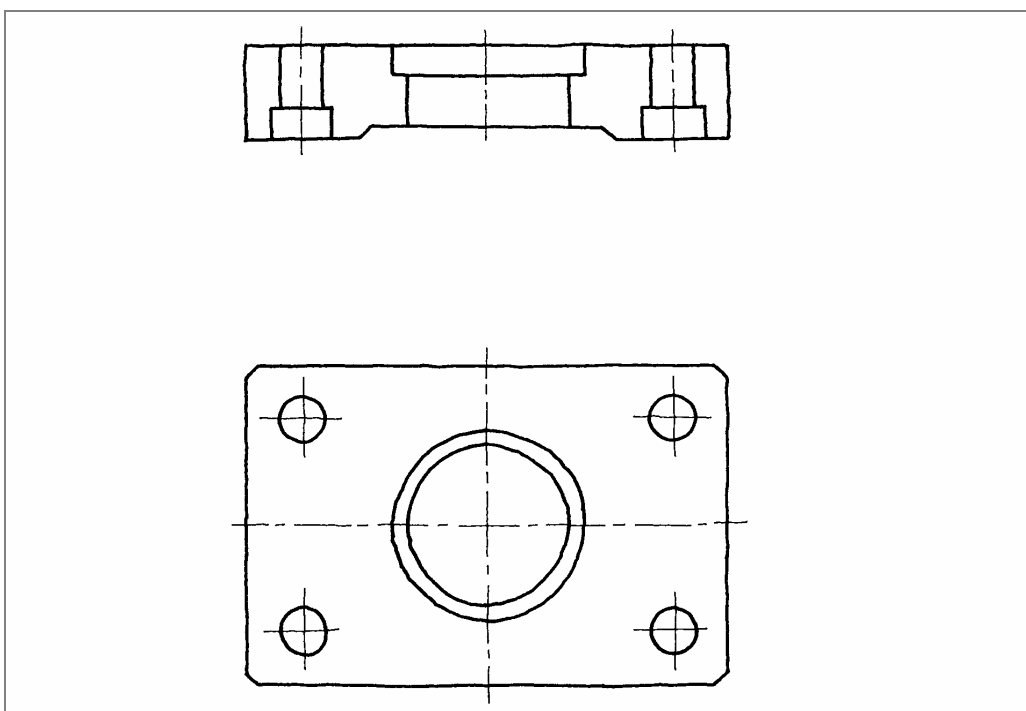
Slika 8.21. Treća faza skiciranja

Četvrta faza skiciranja (slika 8.22.) započinje crtanjem oblika predmeta uskim crtama počevši od simetrale prema van zamišljajući ga rastavljenog na temeljne

oblike tijela, crtajući odmah sve vidljive konture i bridove u svim planiranim projekcijama. Pri tome se u svakoj od projekcija crta najvažniji dio predmeta, a tek nakon toga detalji.



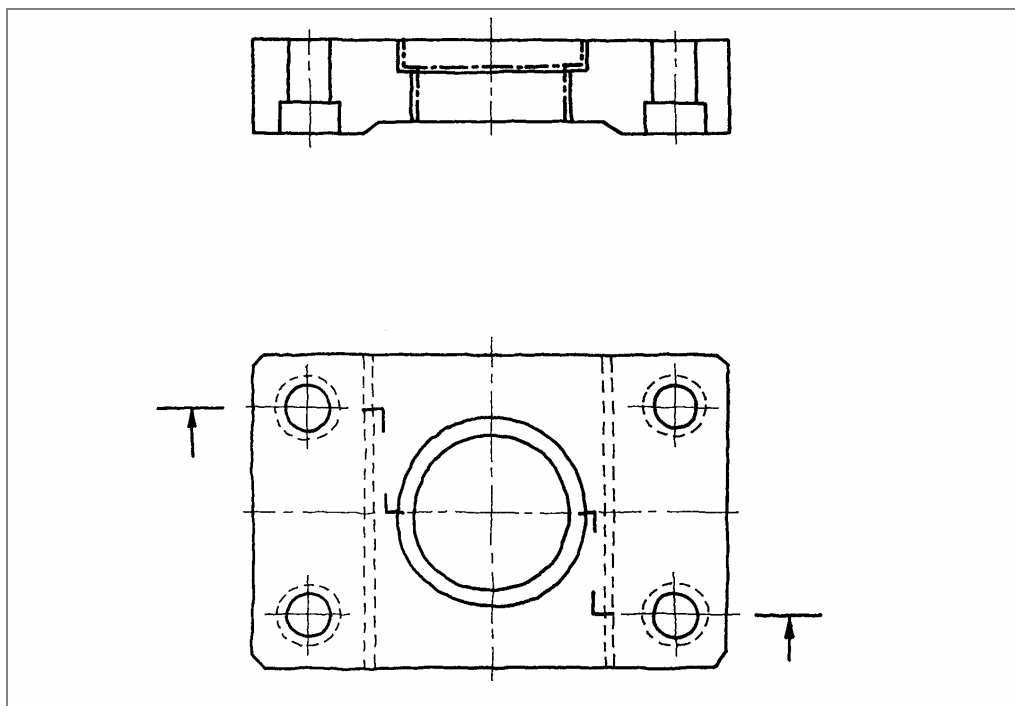
Slika 8.22. Četvrta faza skiciranja



Slika 8.23. Peta faza skiciranja

Peta faza skiciranja (slika 8.23.) započinje onda kada je oblik predmeta nacrtan

uskim crtama u svim planiranim projekcijama. Sastoji se u podebljavanju vidljivih bridova mekom olovkom odgovarajućeg stupnja širine, ali sada točno od kuta do kuta. Najprije se izvlače kružnice i zaobljenja, a zatim ostale crte, i to tako da se započinje redom - odozgo sve vodoravne crte u svim projekcijama, pa sve uspravne počevši s lijeve strane opet u svim projekcijama te na koncu sve kose crte. Pri tome se ispravljaju manje pogreške vezano za poklapanja i međusobne paralelnosti. Pretičke crte u kutovima, koji su izvučeni uskim crtama, nije potrebno brisati.

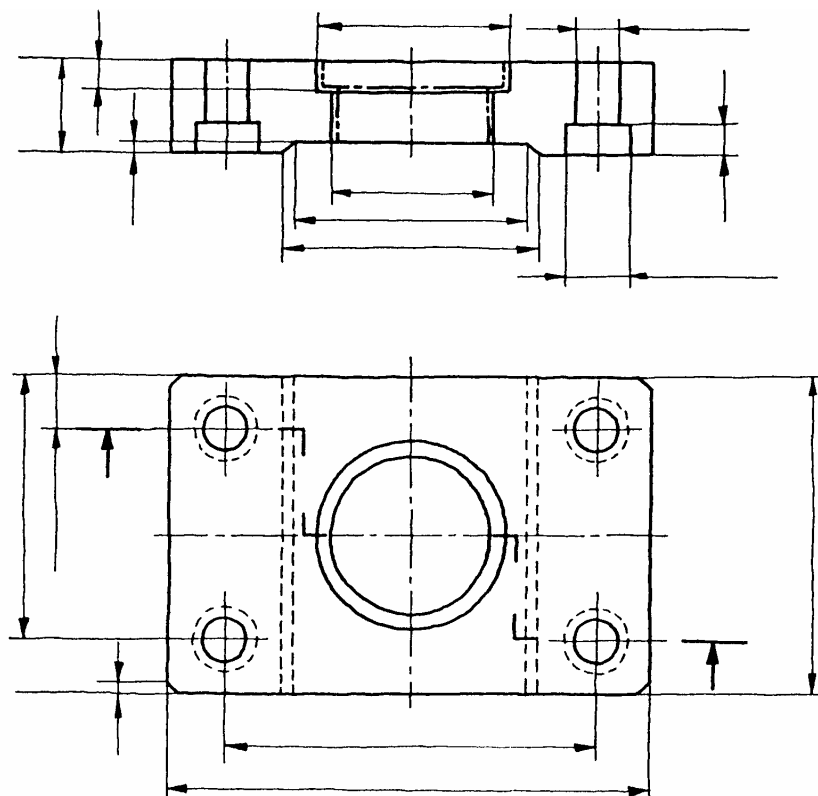


Slika 8.24. Šesta faza skiciranja

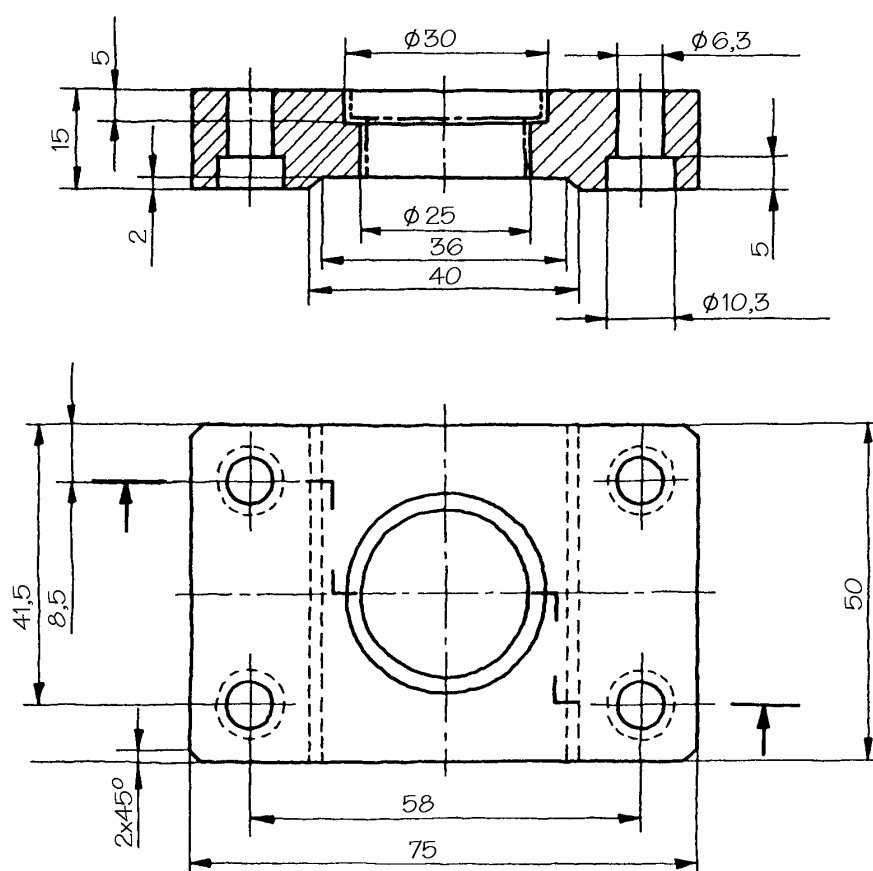
Šesta faza skiciranja (slika 8.24.) nakon podebljavanja vidljivih bridova svodi se na iscrtavanje nevidljivih bridova, ako ovi postoje, zatim crta loma olovkom srednje tvrdoće odgovarajućeg stupnja debljine, dovršavanje ostalih detalja oblika predmeta te nužno obilježavanje vezano za postizanje potrebne razlike u značenju pojedinih crta, tj. ispoljavanje najmanje dva stupnja debljine crta.

Sedma faza skiciranja (slika 8.25.) je postavljanje slijepih mjernica. Prema pravilima za kotiranje unose se slijepe mjernice, tj. kote bez brojeva i simbola, onim redom kako ih djelatnik potrebuje u proizvodnji u svakoj fazi rada. Pomoćne mjerne crte i mjernice izvlače se olovkom srednje tvrdoće odgovarajućeg stupnja debljine, a strelice mekom olovkom.

Osma faza skiciranja (slika 8.26.) slijedi onda kada su sve slijepe kote postavljene i pravilno raspoređene, pristupa se mjerenju na predmetu i unošenju kotnih brojeva. Rijetko se unose decimale, jer se brojevi većinom zaokružuju na cijele, parne, 0 ili na 5, ili na 0. U ovoj fazi treba obaviti i kontrolu kota. Uz kotne brojeve upisuju se i posebne oznake, kao što je npr. oznaka za kružni oblik \varnothing .

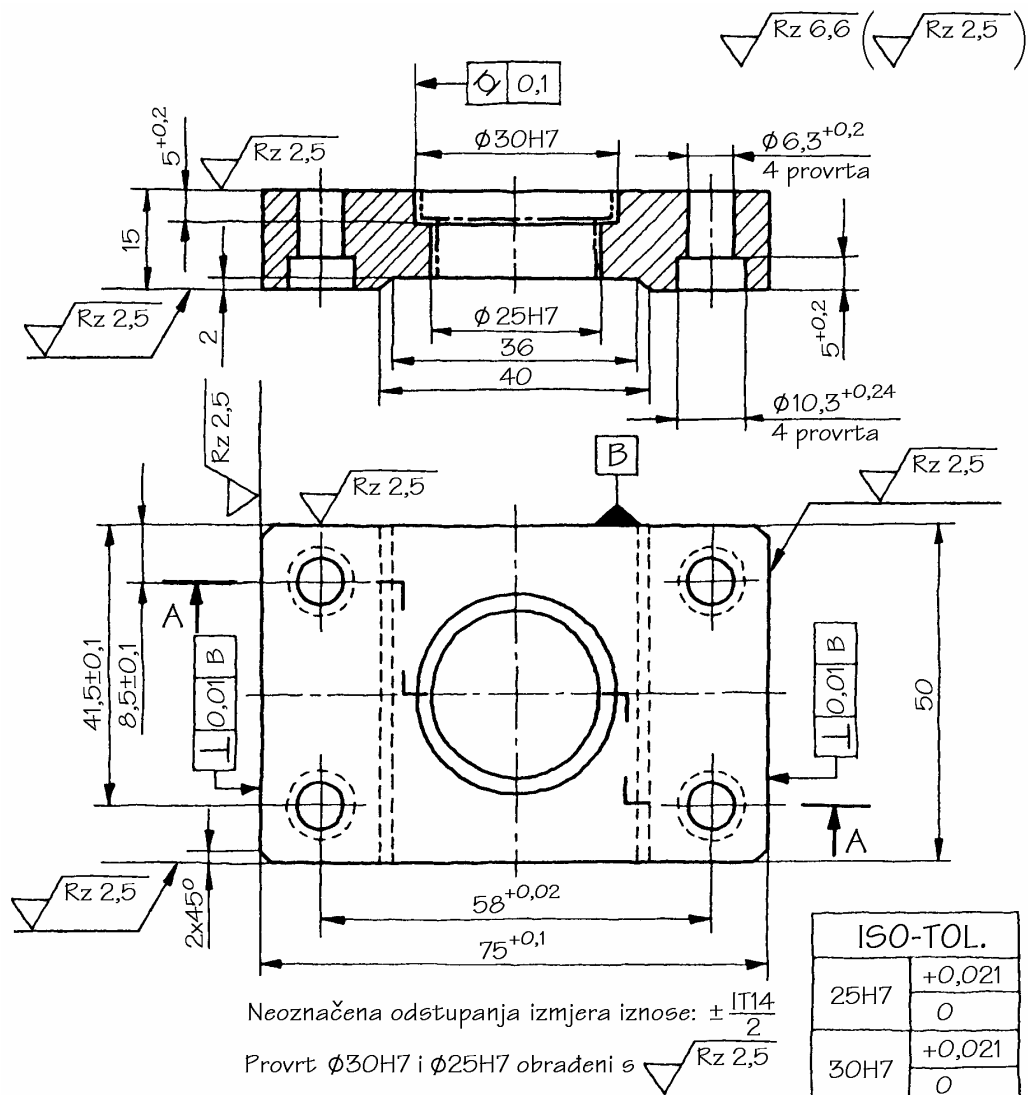


Slika 8.25. Sedma faza skiciranja



Slika 8.26. Osma faza skiciranja

Deveta faza skiciranja (slika 8.27.) svodi se na unošenje tolerancija duljinskih mjera i tolerancija oblika i položaja, površinske hrapavosti, označavanje i obilježavanje presječnih ravnina i presjeka, unošenje potrebnih uputa i svih ostalih podataka. Nakon toga slijedi iscrtavanje (šrafiranje) presječenih ploha, pri čemu se pazi da se iscrtavanjem ne precrtaju brojevi i bilješke na crtežu.



Slika 8.27. Deveta faza skiciranja

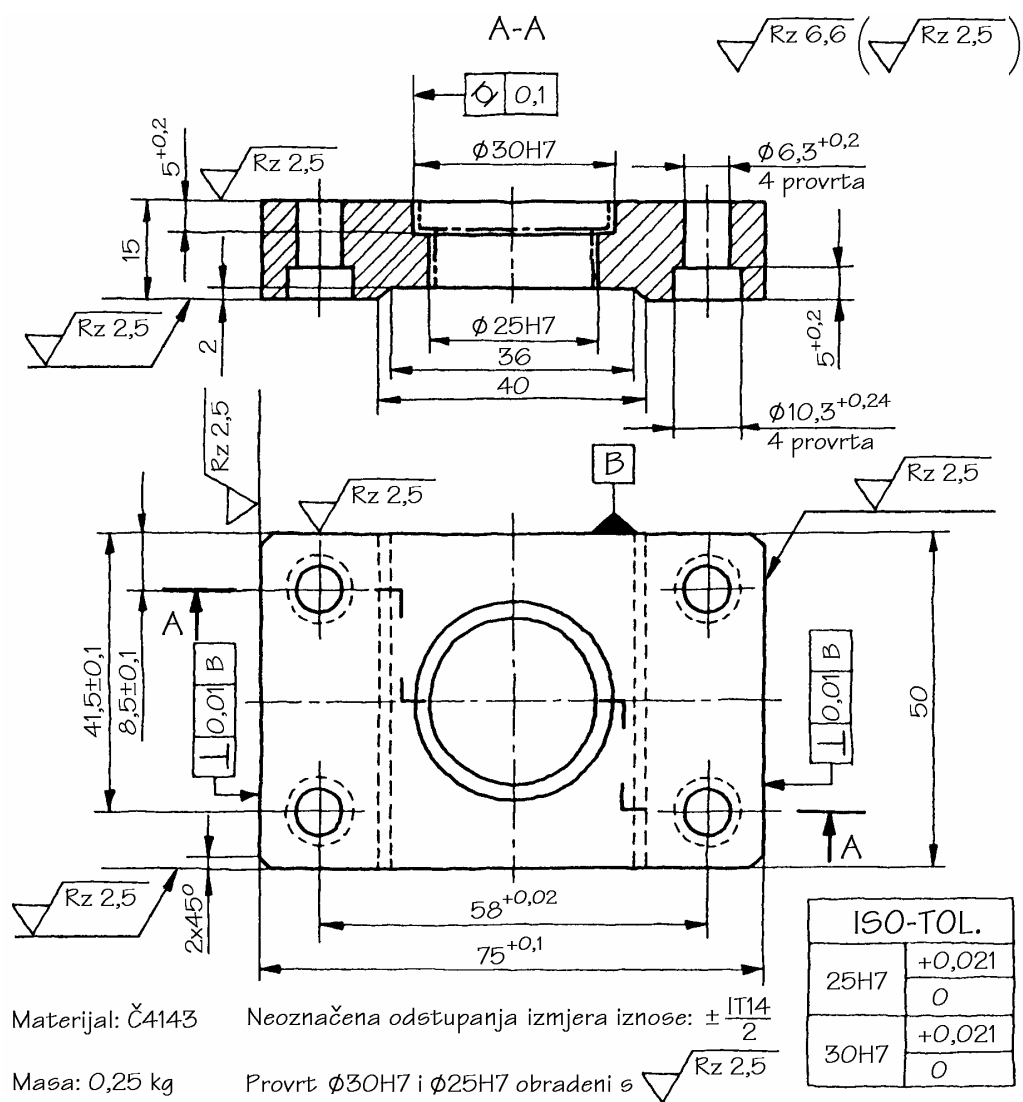
Deseta faza skiciranja (slika 8.28.) posljednja je faza skiciranja ili faza u kojoj se potpuno dovršava prostoručni crtež. U sklopu ove faze treba ispuniti sastavnicu ili unijeti potrebne podatke. Najmanje mora biti naveden naziv predmeta, materijal, datum završetka, ime osobe koja je izradila skicu, a ako se radi o dijelovima nekog sklopa, i broj pozicije prema sastavnom (sklopnom) crtežu.

Prema nekim autorima [10] ovih deset faza skiciranja ravninskog crteža mogu se sažeti u samo pet faza. U tom su slučaju faze skiciranja sljedeće:

- **Prva faza skiciranja** svodi se na utvrđivanje broja potrebnih projekcija i

prostora na kojemu će te projekcije biti nacrtane, zatim se povlače središnjice ovisno o simetričnosti objekta koji se crta (napomena: objedinjene prva, druga i treća faza iz podjele na deset faza).

- **Druga faza skiciranja** svodi se na crtanje vidljivih i nevidljivih rubova objekta uskim crtama (napomena: četvrta faza iz podjele na deset faza).



DONJA PLOČA

2.	24.04.02.	1	da	ne		5	
1.	10.04.02.	1	da	ne		5	
Broj vjež.	Datum	Poz.	Ortog.	Prost.	Kontrola	Ocjena	Primjedba
Faze rada							
FSB Zagreb a.g. 2001./02.				Antun Antunović			Listova: 5
				Grupa: B			Liet: 3

Slika 8.28. Deseta faza skiciranja

- **Treća faza skiciranja** svodi se na podebljavanje konture objekta i to sljedećim redoslijedom: male kružnice, velike kružnice, mali kružni lukovi, veliki kružni lukovi i nepravilne krivulje (opaska: ova faza uključena je u petu fazu iz

podjele na deset faza).

- **Četvrta faza skiciranja** svodi se na podebljavanje vodoravnih i uspravnih crta konture objekta, zatim kosih crta i crta kojima se označavaju nevidljivi rubovi ili značajke objekta (napomena: peta faza iz podjele na deset faza).
- **Peta faza skiciranja** obuhvaća potpuno dovršenje skice objekta (napomena: šesta, sedma, osma, deveta i deseta faza iz podjele na deset faza).

format A3

1 - tablica za plan
2 - tablica za evidenciju

Tablica za plan

32	8	20	20	10	10	20
Naziv i vanjske izmjere	Poz.	Položaj za N	Ortog. proj. u pogl. i presj.	Prost. pred.	Simet.	Materijal

Tablica za evidenciju

8	12	10	10	10	25	10	35
3.							
2.							
1.							
Broj vjež.	Datum	Poz.	Ortog.	Prost.	Kontrola	Ocjena	Primjedba
		Faze rada					
SF - Sl. Brod š.g. 2000./01.		Antun Antunović				Grupa:	Listova: List:
							20

Slika 8.29. Primjer tablice za plan i tablice za evidenciju koje se koriste kod vježbanja tehničkog prostoručnog skiciranja

Za vježbe u sklopu predmeta Tehničko crtanje preporuča se uporaba bijelog neprozirnog papira formata A3 s unaprijed nacrtanom tablicom za plan i tablicom za evidenciju (vidi sliku 8.29.).

8.3. Skiciranje prostornih crteža

Često se oblik predmeta najlakše predočava prostornim crtežom. Tako se mogu zorno predočiti i složeni detalji ili čvorišta. Kod nas se ovaj vrlo prikladan način razjašnjavanja gotovo ne upotrebljava, dok je npr. u SAD-u vrlo čest. U svim načinima prostornog predočavanja koje se izvodi iz crteža u ortogonalnoj projekciji treba najprije postaviti plan dimenzija, tj. smjer glavnih osi: za duljinu, širinu i visinu. Najčešće se koristi izometrija jer su mnogi predmeti ili barem njihovi dijelovi rotacijski. Valja dobro promotriti svaku plohu, utvrditi njezine dimenzije, pa ih zatim ucrtavati prema planu dimenzija. Tijek rada pri skiciranju i ovdje je vezan za odgovarajući redoslijed ovisno o obliku predmeta. Jedan je redoslijed za rotacijske predmete, a drugi za predmete koji se izrađuju od poluproizvoda, odljevaka ili otkovaka drugim postupcima rada. Za rotacijske predmete (vidi primjer na slici 8.30.) vrijede sljedeće faze rada pri prostoručnom skiciranju [18]:

Prva faza skiciranja. Povuci glavne središnjice predmeta, odrediti udaljenosti i povuci krajnje konjugirane dijemetre prema planu dimenzija. Zatim odrediti veličine konjugiranih dijametara krajnjih ploha prema stvarnim dimenzijama i mjerilu crtanja. Za skicu u izometriji ne treba se pridržavati standardnih mjerila.

Druga faza skiciranja. Konstruiranje krajnje elipse uskim crtama, pri čemu ne treba izvlačiti sve crte potrebne za konstrukciju prema slikama 5.39. i 5.40., već se treba služiti skraćenom konstrukcijom vodeći računa da su središta lukova za elipse u gornjoj ravnini, na vodoravnoj i uspravnoj osi, a za bočne elipse na crti pod 30° ulijevo ili udesno od uspravne osi (slika 5.38.).

Treća faza skiciranja. Povuci ostale konjugirane dijemetre na ispravnim udaljenostima s obzirom na mjerilo crtanja i izvući tanko koncentrične i ostale elipse.

Četvrta faza skiciranja. Potpuno dovršiti oblik predmeta uskim crtama (spajati elipse, nacrtati utore, provrte, zaobljenja, rebra, matice, navoje, odrediti odoka prodore i sve ostale detalje). Često treba crtanjem utvrditi i koji je dio predmeta vidljiv.

Peta faza skiciranja. Podebljati vidljive dijelove predmeta. Ako je dovoljna razlika u debljini crta, uske crte neće smetati zornosti prostorne predodžbe pa ih nije potrebno brisati.

Ako predmeti nisu rotacijski (slika 8.31.), skiciraju se ovim redom:

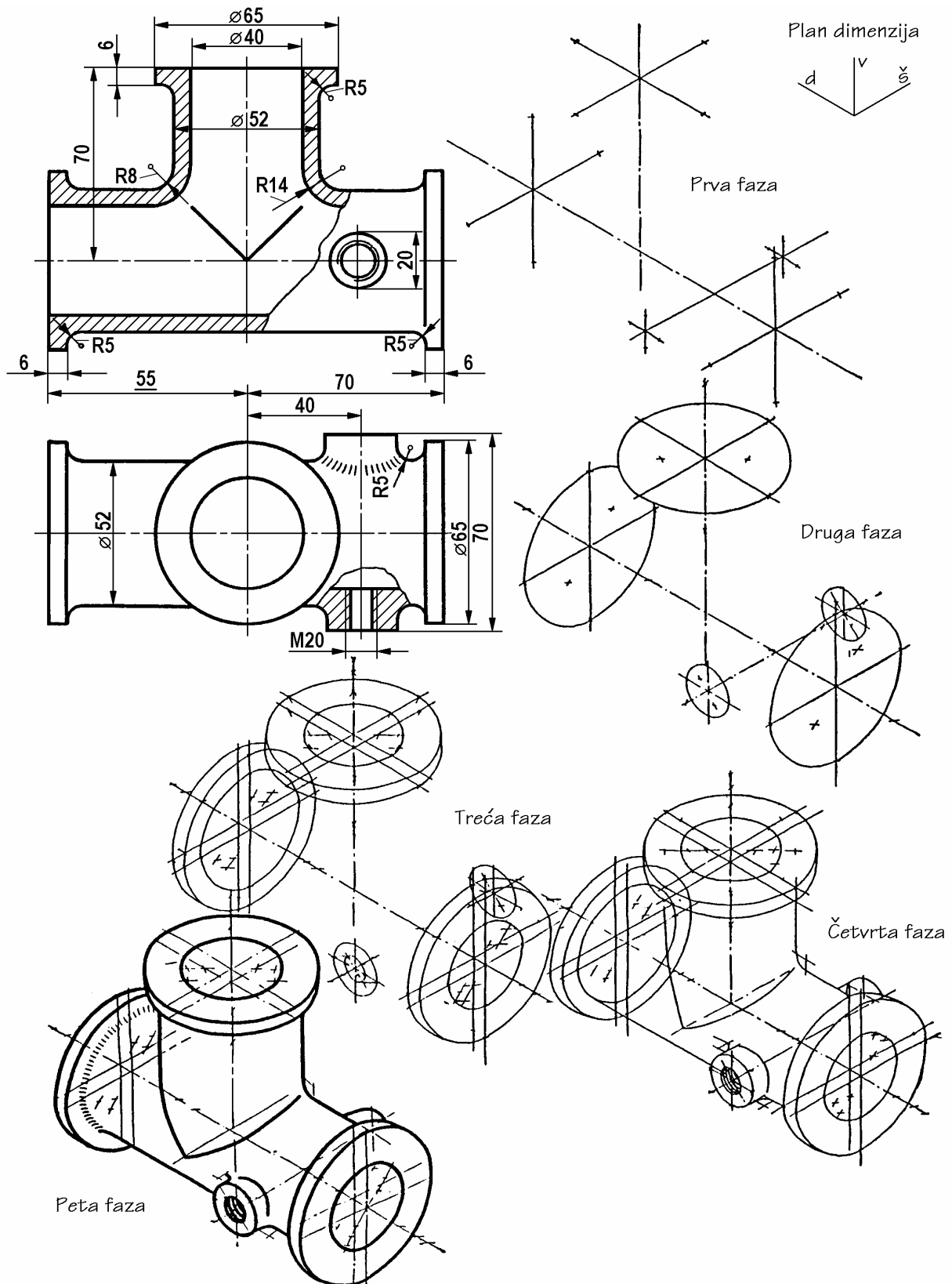
Prva faza skiciranja. Nacrta se osnovni nezaobljeni oblik predmeta (sirovine) uskim crtama.

Druga faza skiciranja. U crtaju se konjugirani dijemetri provrta i zaobljenja prema stvarnim dimenzijama.

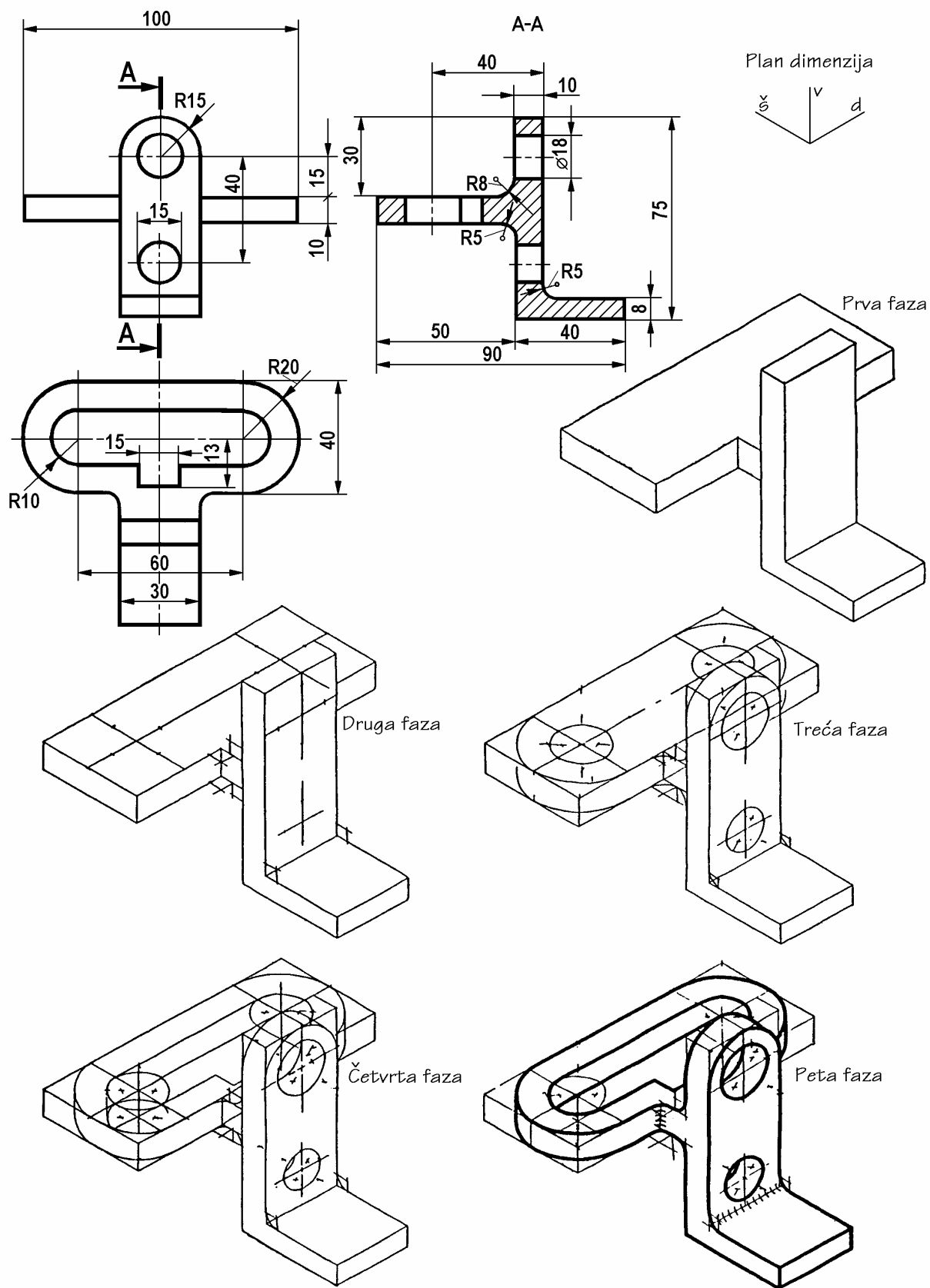
Treća faza skiciranja. Konstruiraju se elipse ili samo potrebni dijelovi elipsi.

Četvrta faza skiciranja. Potpuno se dovrši oblik predmeta uskim crtama ucrtavanjem sporednijih dijelova (izreza, ureza, rebara, koncentričnih elipsi vidljivih zbog debljine stijenki i slično).

Peta faza skiciranja. Podebljaju se vidljivi rubovi.

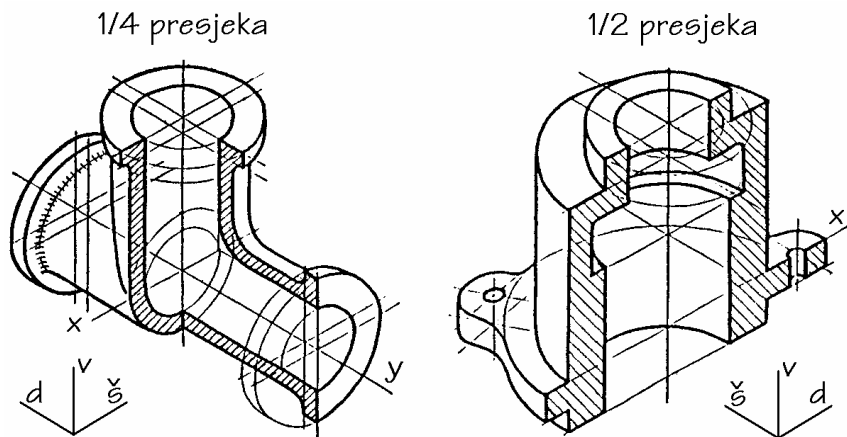


Slika 8.30. Postupak skiciranja izometrije objekta koji je rotacijski



Slika 8.31. Postupak skiciranja izometrije objekta koji nije rotacijski

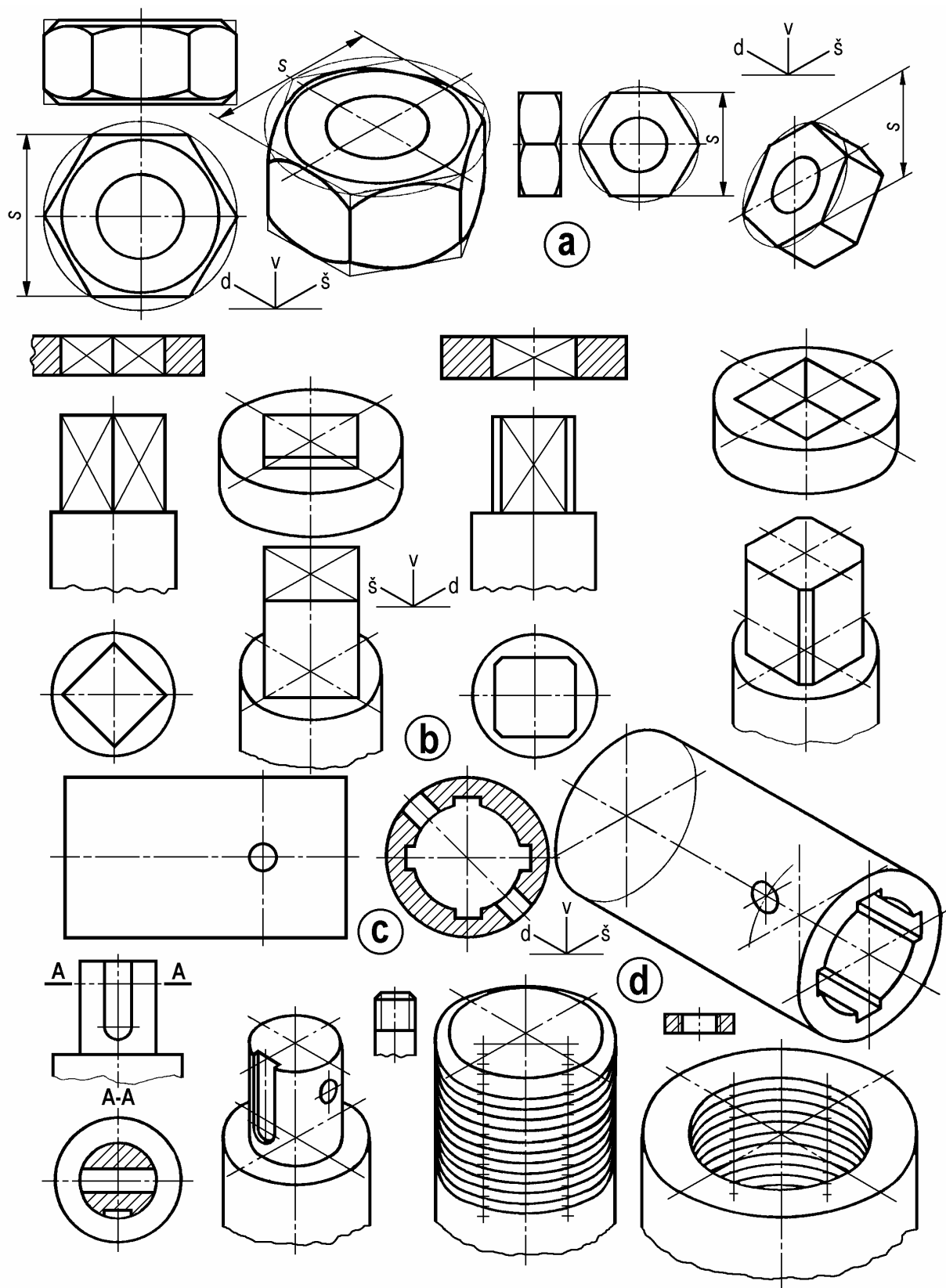
Ako je pak potrebno predočiti unutrašnjost objekta, siječe se četvrtina ($1/4$) predmeta po duljini x i širini y , ili polovina ($1/2$) predmeta po duljini x (slika 8.32.). Ako kružne plohe nisu u smjeru dimenzija predmeta, odrede se njihove središnjice i položaj ploha odoka prema dijelu kuta u stvarnosti dijeljenjem odgovarajućeg kuta u izometriji u istom smjeru.



Slika 8.32. Četvrtinski i polovični presjek u prostornoj predodžbi - izometriji

Crtanje u izometriji zadaje početnicima teškoće jer se izgube u mnoštvu crta i ne poštuju dosljedno plan dimenzija. Zbog toga je uputno da se uvježbaju češći elementi (osim kružnih ploha) u različitim položajima. Prema slici 8.33. to su [6, 18]:

- a) Šesterokuta matica u različitim položajima. Za crtanje u izometriji važan je promjer matici opisane kružnice, otvor ključa i paralelnost ploha matice s dimenzijama predmeta. U smjeru jedne dimenzije su vrhovi bridova koji se nalaze na elipsi koja predstavlja matici opisanu kružnicu. U smjeru druge dimenzije je otvor ključa, a rubovi matice paralelni su s prvom dimenzijom, tj. sa spojnicom vrhova. Iz konjugiranih dijametara matici opisane kružnice konstruira se elipsa, odrede vrhovi šesterokuta, unese na drugu dimenziju otvor ključa s i odredi šesterokut. Zatim se odredi debljina matice (visina) u smjeru treće dimenzije i paralelno nacrtaju plohe. Skošnja rubova matice ucrtaju se približno. Slično se crta i osmerokutna matica.
- b) Četverokutni produžeci i provrti vidjet će se u izometriji obrnuto od pravokutne projekcije. Ako se u pravokutnoj projekciji vide dvije plohe četverokuta, u izometriji se vidi samo jedna i obrnuto. To proizlazi iz pravilnog promatranja dimenzija i ispravne primjene plana dimenzija kako je vidljivo na slici 8.33.
- c) Utori i provrti bit će u izometriji smješteni prema položaju osi, a to neće biti u istim položajima, već prividno kao i u pravokutnoj projekciji. Treba dobro uočiti koje su dimenzije takvih dijelova vidljive i s kojim dimenzijama su paralelne, te ih u stvarnim udaljenostima i veličinama nanositi prema planu dimenzija u izometriju.



Slika 8.33. Predočavanje češće rabljenih elemenata u izometriji (a – šesterokuta matica, b – četverokutni produžeci i provrti, c – utori i provrti i d – navoji vijaka i matica)

- d) Navoj se na zornijoj predodžbi u izometriji crta po približnom postupku. Svaki zavoj predočuje se jednako razmaknutom elipsom⁴, a razmak elipsi jednak je usponu vijka (ili približno usponu vijka kod malih uspona). Sve ove elipse imaju jednake polumjere zakrivljenja, pa treba u sva tri središta za kružne lukove elipsi povući paralele, nanijeti razmake i redom izvlačiti kružne lukove.

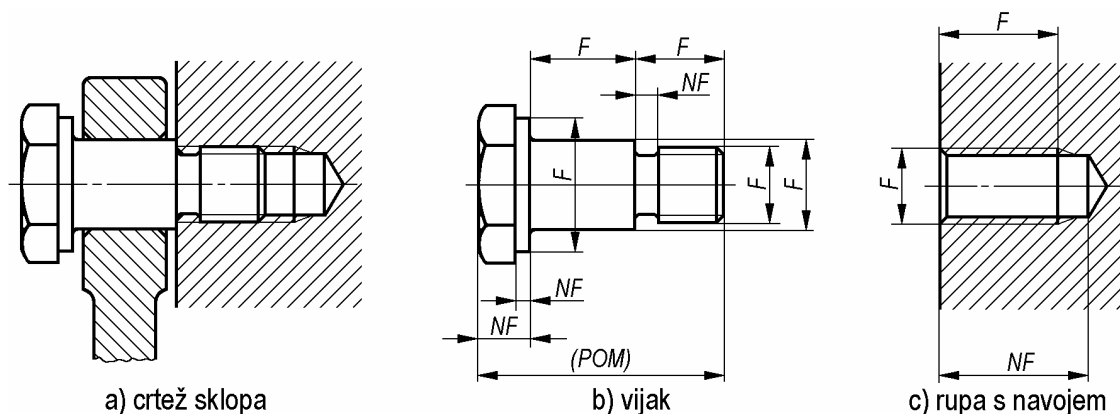
⁴ ekvidistantnom elipsom

9. Kotiranje

Dimensioning

9.1. Opća načela

Osim definiranja oblika strojnog dijela, u tehničkom crtežu najznačajnije je i najteže unošenje izmjera. Strojni dijelovi izrađuju se pojedinačno ili serijski, pa se u slučaju pogrešnog dimenzioniranja i uz moguću slabu kontrolu pogreške otkrivaju tek u fazi montaže, kada je već kasno. Zbog toga nastaju materijalne štete i velike neprilike s obzirom na rokove isporuke proizvoda. U svezi s tim konstruktori i crtači moraju posvetiti izniman pozor ovoj aktivnosti jer su upravo oni najodgovorniji za štete nastale zbog pogrešnih izmjera na tehničkim crtežima. Sve izmjere moraju biti unesene tako da se upotpunjuju s definiranim oblikom strojnog dijela, da se u proizvodnom procesu lako razumiju te da isključe svaku dvojbu, zabunu i mogućnost pogrešaka. Posljedice lošeg kotiranja neprocjenjivi su gubici vremena i novca, a vrlo često i nepoželjne razmirice među zaposlenicima. Prije no što se prijeđe na stanovita pravila koja treba uvažavati prilikom kotiranja, nužno je upoznati sljedeće definicije (prema ISO 129):



Slika 9.1. Funkcijske, nefunkcijske i pomoćne dimenzije (izmjerne)

Dimenzija ili **izmjera** numerička je vrijednost izražena u naravnoj jedinici mjerenja (u strojarstvu je to milimetar, mm) i označena grafički na tehničkom crtežu s crtom, simbolima i znakovljem.

Dimenzije ili izmjere klasificirane su prema sljedećim vrstima:

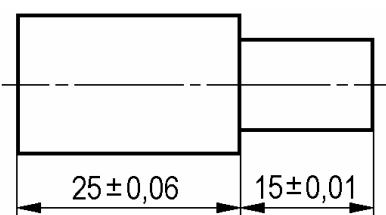
- **Funkcijska dimenzija** ili **izmjera** je ona koja je bitna za funkcioniranje strojnog dijela ili prostora (označena s *F* na slici 9.1.).
- **Nefunkcijska dimenzija** ili **izmjera** je ona koja nije bitna za funkcioniranje strojnog dijela ili prostora (označena s *NF* na slici 9.1.).
- **Pomoćna dimenzija** ili **izmjera** je ona koja je samo informacijska i ne upotrebljava se u procesu proizvodnje i kontrole. Ona se izvodi iz drugih dimenzija na tehničkom crtežu. Uputno ju je stavljati u zagrade. Na pomoćnu dimenziju ne primjenjuju se tolerancije (označena je s *POM* na slici 9.1.).

Značajka je pojedinačna karakteristika, kao što je ravna ploha, cilindrična ploha, dvije paralelne plohe, rub, navoj vijka, urez, utor, procijep, profil itd.

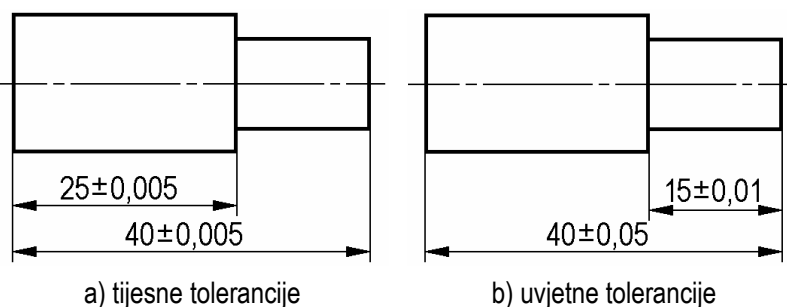
Konačni proizvod (izradak, strojni dio) je kompletan strojni dio spreman za ugradnju ili servisiranje (reparaturu) ili konfiguracija proizvedena prema specifikaciji crteža. Konačni proizvod također može biti dio spreman za daljnju obradu (npr. odljevak ili otkovak) ili konfiguracija koja zahtijeva daljnju obradu.

9.2. Pravila za primjenu

- 1) Sve dimenzijske informacije potrebne da jasno i potpuno definiraju strojni dio ili komponentu prikazane su izravno na crtežu, s iznimkom kada je ta informacija specificirana u pomoćnoj dokumentaciji.
- 2) Svaka značajka kotirana je samo jedanput na crtežu.
- 3) Kote se smještaju na projekciji (pogledu) ili presjeku koji najjasnije prikazuje odgovarajuće značajke.
- 4) Svaki crtež koristi se istom jedinicom mjere (npr. milimetar, mm) za sve izmjere, ali bez oznake jedinice (dakle bez mm). Da bi se izbjeglo pogrešno tumačenje, pretežna oznaka jedinice na crtežu može biti specificirana u primjedbi (bilješci) na crtežu.
Ako se druge jedinice pojavljuju kao dio specifikacije crteža ili u primjedbi (npr. Nm za moment ili kPa za tlak), izdvojena oznaka jedinice prikazuje se s pripadnom vrijednosti.
- 5) Na crtežu se ne prikazuje više izmjera no što je potrebno za definiranje strojnog dijela ili konačnog proizvoda. Značajka strojnog dijela ili konačnog proizvoda ne definira se s više od jedne izmjere u bilo kojem smjeru. Međutim, iznimka se može napraviti:
 - a) gdje je potrebno dati dopunsku izmjeru u međustupnjevima proizvodnje (npr. duljina konture prije cementiranja i završne obrade);
 - b) gdje je korisna dopuna pomoćnom izmjerom.



Slika 9.2. Funkcijsko kotiranje



Slika 9.3. Neizravno funkcijsko kotiranje

- 6) Proizvodne procese (tehnologiju izrade) ili načine kontrole ne treba naznačiti, osim ako su bitni za osiguranje zadovoljavajućeg funkcioniranja ili zamjenjivosti.

- 7) Funkcijske dimenzije prikazuju se izravno na crtežu gdje god je to moguće (vidi sliku 9.2.).

U određenim slučajevima neizravno funkcijsko kotiranje je opravdano ili potrebno. U takvim slučajevima pozor usmjeriti na održavanje rezultata izravno prikazanog funkcijskog kotiranja. Slika 9.3. prikazuje rezultat prihvatljivog izravnog funkcijskog kotiranja uz održavanje dimenzijskih uvjeta utvrđenih na slici 9.2.

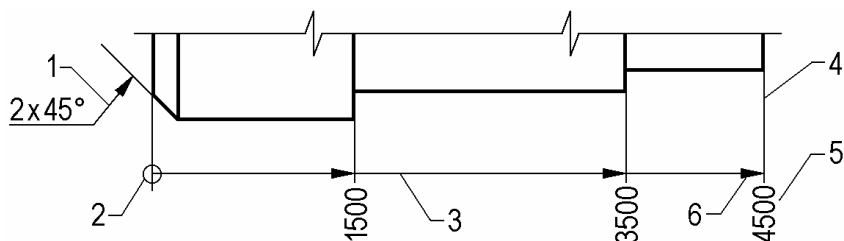
- 8) Nefunkcijske dimenzije smještaju se na način koji najviše odgovara proizvodnji i kontroli.

9.3. Elementi kotiranja i njihova primjena

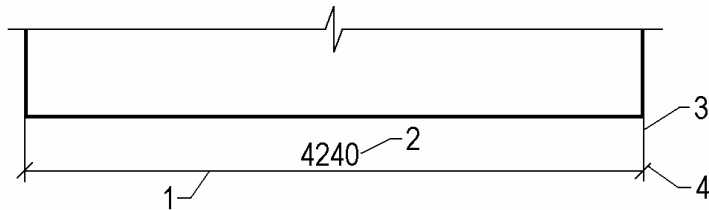
Elementi kotiranja uključuju crtu projiciranja ili pomoćnu mjernu crtu (pomoćnu kotnu crtu), glavnu ili pokaznu crtu, mjernicu ili mjernu crtu (kotnu crtu), završetke glavne crte i mjernice, oznaku početka te samu dimenziju ili izmjeru (kotni broj). Različiti elementi kotiranja prikazani su na slikama 9.4. i 9.5. (prema ISO 129).

9.3.1. Pomoćne mjerne crte, mjernice i glavne crte

Pomoćne mjerne crte, mjernice i glavne crte nacrtane su kao neprekidne uske crte (crta tipa 01.1, tablice 7.8. i 7.10.) na slikama 9.4. i 9.5.



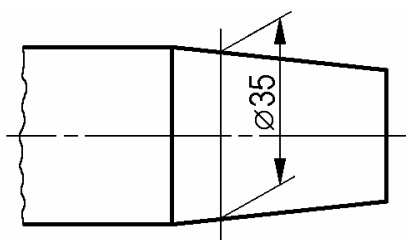
Slika 9.4. Elementi kotiranja (1 – glavna ili pokazna crta, 2 – oznaka početka, 3 – mjernica, 4 – pomoćna mjerna crta, 5 – vrijednost dimenzije i 6 – završetak mjernice)



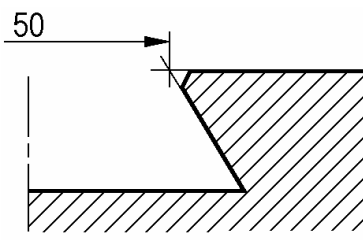
Slika 9.5. Elementi kotiranja
(1 – mjernica, 2 – vrijednost dimenzije, 3 – pomoćna mjerna crta i 4 – završetak mjernice)

1. Pomoćne mjerne crte produljuju se malo izvan svoje mjernice (od 1 do 3 mm) (slike 9.4. i 9.5.).
2. Pomoćne mjerne crte crtaju se okomito na značajku (crtu) koja se kotira.

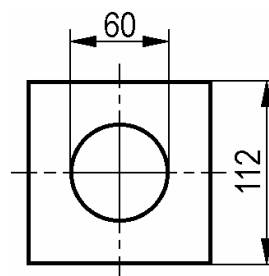
Međutim, gdje je to potrebno, one mogu biti nacrtane koso, ali paralelne jedna drugoj (slika 9.6.).



Slika 9.6.

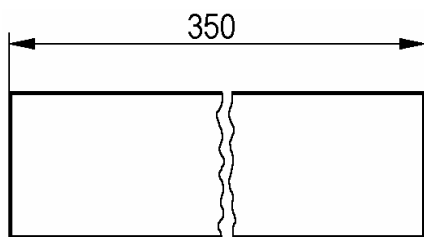


Slika 9.7.

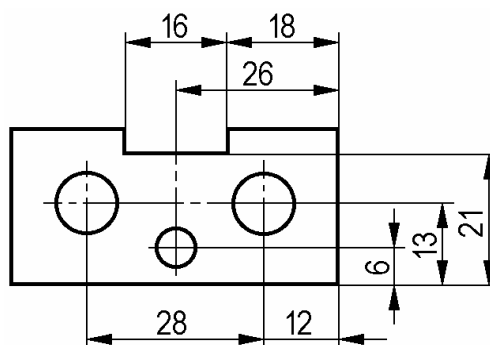


Slika 9.8.

3. Konture i pomoćna mjerna crta produljuju se malo izvan sjecišta (slika 9.7.).
4. Općenito, pomoćne mjerne crte i mjernice ne smiju sjeći druge crte, osim ako je to neizbježno (slika 9.8.).
5. Mjernica se prikazuje neprekinuta tamo gdje je značajka (crta) na koju se ona odnosi prikazana prekinuta (slika 9.9.), izuzev slučaja prikazanog u 2. načinu u točki 9.3.3. ovog udžbenika.



Slika 9.9.



Slika 9.10.

6. Presijecanje pomoćnih mjernih crta i mjernica treba izbjegavati. Međutim, gdje je to neizbježno, nijedna crta se ne prekida (slika 9.10.). Središnjica ili kontura predmeta ne koristi se kao mjernica, ali može biti upotrijebljena umjesto pomoćne mjerne crte (slika 9.10.).

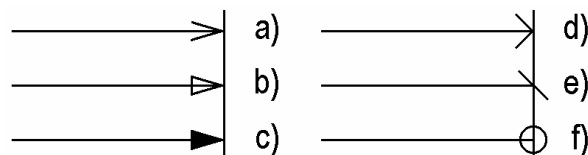
6.3.2. Završeci mjernica i oznake početka kotiranja

Mjernice moraju imati jasne završetke (npr. bilo strelice bilo kosi potez) ili gdje je to primjenjivo oznaku početka kotiranja.

1. U ISO 129 specificirana su dva tipa završetaka mjernica (slike od 9.11.a do 9.11.e) i jedan način označavanja početka kotiranja (početna indikacija)(slika 9.11.f). Dakle, kao završetak mjernice može se upotrijebiti:
 - a) Strelica nacrtana kao dvije kratke crte koje oblikuju šiljak s bilo kojim

prikladnim kutom između 15° i 90° . Strelica može biti otvorena, zatvorena, ili zatvorena i ispunjena (slike od 9.11.a do 9.11.d).

- b) Kosi potez (kosa crta) nacrtan kao kratka crta nagnuta pod kutom od 45° (slika 9.11.e).
- c) Oznaka početka kotiranja (početna indikacija) nacrtana kao mala kružnica promjera oko 3 mm i crte nešto dulje od njezinog dvostrukog promjera koja je okomita na mjernicu (slika 9.11.f).



Slika 9.11.

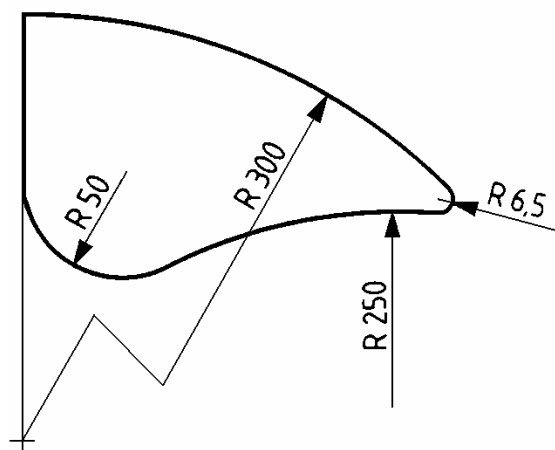
2. Duljina strelica treba biti proporcionalna duljini crteža na kojemu se strelice koriste, ali ne veća no što je potrebno za čitljivost crteža.
3. Na istom crtežu treba upotrebljavati samo jednu vrstu strelica. Međutim, gdje je prostor tako malen da se strelica ne može nacrtati, ona se može zamijeniti s kosim potezom (prije točkom)(slika 9.23.).



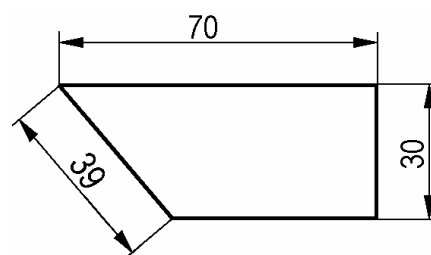
Slika 9.12.



Slika 9.13.



Slika 9.14.



Slika 9.15.

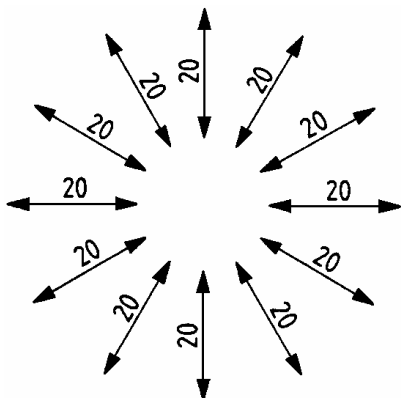
4. Strelice kao završeci mjernica crtaju se unutar granica mjernice u slučajevima da postoji dovoljno velik prostor (slika 9.12.). Gdje je taj prostor ograničen, strelice se mogu crtati s vanjske strane predviđenih granica mjernice, koja je u tu svrhu produžena (slika 9.13.).
5. Samo jedna strelica, sa svojim vrhom na kraju mjernice kružnog luka,

upotrebljava se za kotiranje polumjera (slika 9.14.). Strelica se može postaviti bilo na vanjskoj bilo na unutrašnjoj strani karakteristične konturne crte (ili njezine pomoćne mjerne crte), ovisno o njezinoj duljini.

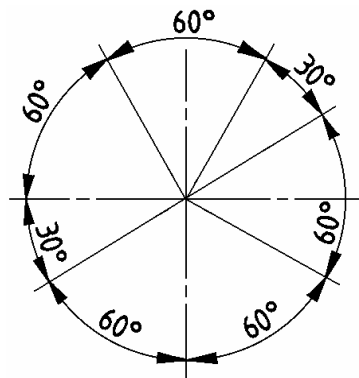
9.3.3. Prikazivanje vrijednosti dimenzija na crtežima

Vrijednosti dimenzija ili izmjera, tj. kotnih brojeva, prikazuju se na crtežima simbolima dovoljne visine da osiguravaju potpunu čitljivost i na originalnom crtežu i na reprodukcijama s mikrofilmova. Smještaju se na takav način da nisu presječene ili razdvojene nekom crtom na crtežu. Vrijednosti se prikazuju na crtežima prema jednom od sljedeća dva načina, od kojih samo jedan smije biti upotrijebljen na istom crtežu.

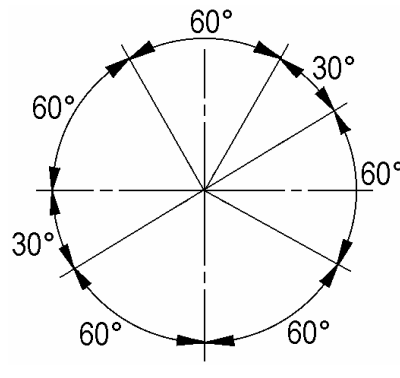
1. Način: Vrijednosti dimenzija ili izmjera smještaju se iznad pripadajuće mjernice, paralelno s njom i po mogućnosti u njezinoj sredini. Osnovni zahtjev je jasna veza s pripadajućom mjernicom (slika 9.15.). Iznimka se može učiniti tamo gdje su upotrijebljene nadređene slijedne izmjere (vidi točku 9.4.2., slike 9.33., 9.34. i 9.35.).



Slika 9.16.



Slika 9.17.



Slika 9.18.

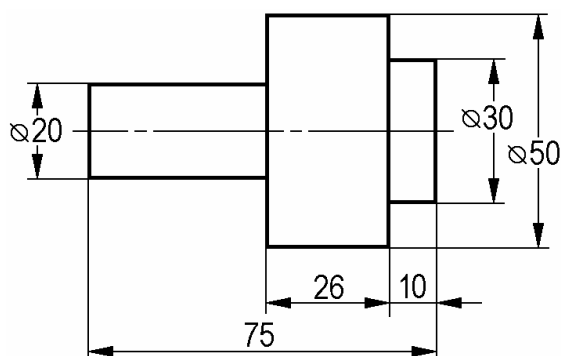
Vrijednosti dimenzija kutova moraju biti orijentirane kao što je prikazano na slikama 9.17. ili 9.18., dok vrijednosti na kosim mjernicama moraju biti orijentirane kao što to prikazuje slika 9.16.

2. Način: Vrijednosti dimenzija ili izmjera smještaju se tako da one mogu biti čitljive s lijeva nadesno. Mjernice koje nisu horizontalne prekidaju se u srednjem dijelu, tako da se vrijednost može upisati (slike 9.19. i 9.20.).

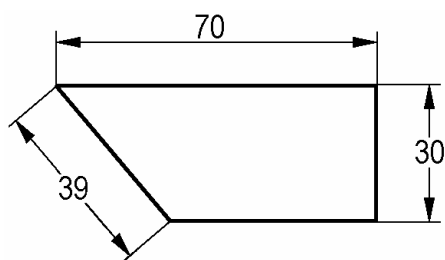
Vrijednosti dimenzija kutova moraju biti orijentirane kao što je prikazano na slikama 9.18. ili 9.21. Smještanje vrijednosti dimenzija ili izmjera često treba prilagoditi različitim slučajevima. U svezi s tim vrijednosti mogu biti:

- upotrijebljene na dijelu mjernice s kojom je moguće jasnije definirati dimenziju ili izmjeru (slika 9.22.),
- upotrijebljene izvan prostora za upisivanje u slučaju kada je prostor ograničen (nedovoljan) (slika 9.23.),

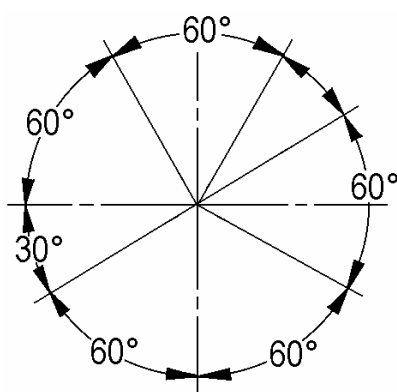
- c. upotrijebljene na kraju glavne crte (pokazne crte) koja se odnosi na mjernicu koja je prekratka za upisivanje vrijednosti dimenzije na uobičajeni način (slika 9.23.),
- d. upotrijebljene iznad vodoravnog produljenja mjernice u slučaju da prostor ne dopušta smještaj u prekidu mjernice koja nije horizontalna (slika 9.24.).



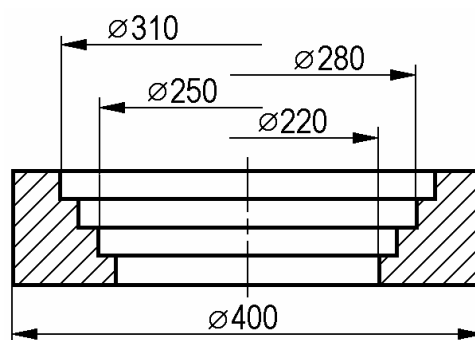
Slika 9.19.



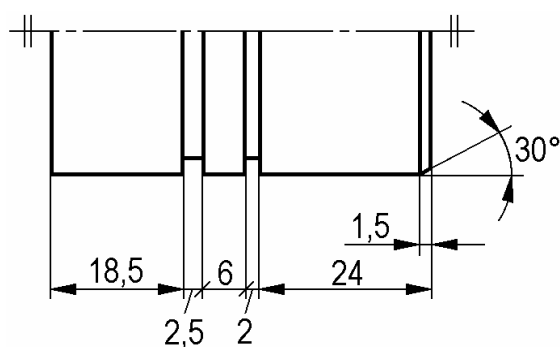
Slika 9.20.



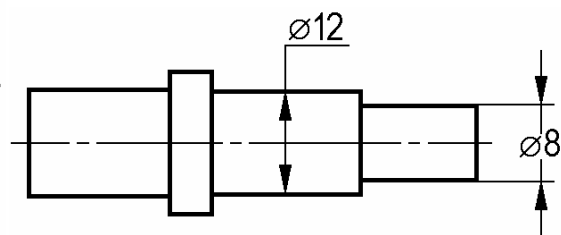
Slika 9.21.



Slika 9.22.



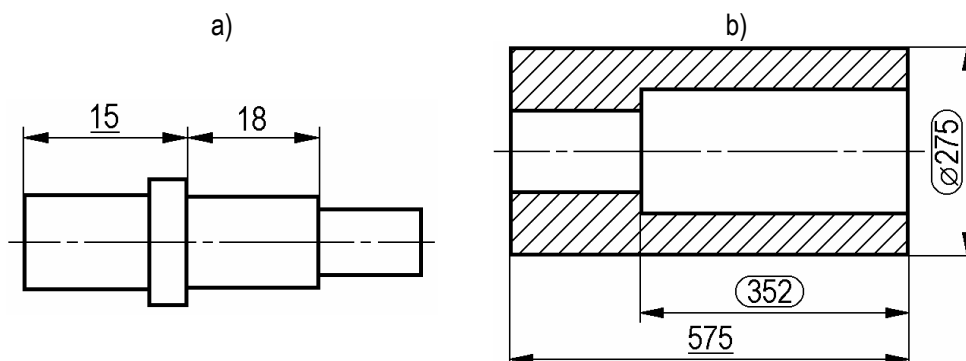
Slika 9.23.



Slika 9.24.

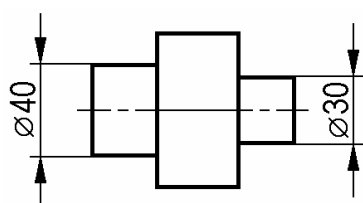
Vrijednosti dimenzija koje nisu nacrtane u mjerilu (izuzev slučajeva gdje se koriste prekinute crte) moraju se podvući neprekidnom uskom crtom (slika 9.25.). Ako se zahtijeva točna izmjera ili izmjera na koju treba obratiti posebnu pozornost, tada se oko dimenzija crta poseban okvir nacrtan neprekidnom uskom crtom (slika 9.25.b).

Primjedba: Vrijednosti dimenzija koje nisu nacrtane u mjerilu mogu biti posljedica modificiranja veličina objekta kada to modificiranje nije vrijedno opsežne revizije crteža u korektnom mjerilu.

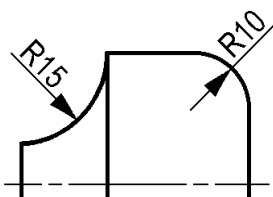


Slika 9.25.

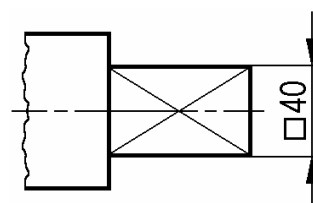
U kombinaciji s dimenzijama koriste se radi poboljšanja interpretacije crteža i stanovite oznake kao identifikacija oblika. To su uglavnom simboli koji prethode vrijednosti za dimenziju (slike 9.26., 9.27., 9.28., 9.29. i 9.30.).



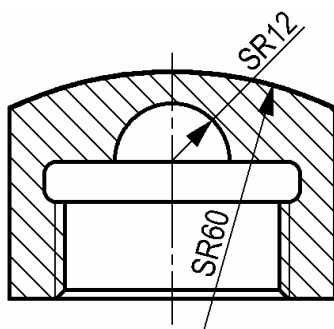
Slika 9.26.



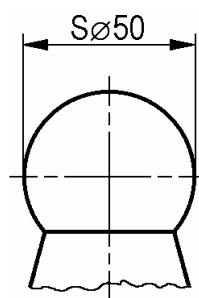
Slika 9.27.



Slika 9.28.



Slika 9.29.



Slika 9.30.

Najčešći su simboli (veza sa slikama 9.26., 9.27., 9.28., 9.29. i 9.30.):

Ø – promjer, R – polumjer, □ – kvadrat, SR – polumjer kugle (sferični polumjer) i SØ – promjer kugle (sferični promjer).

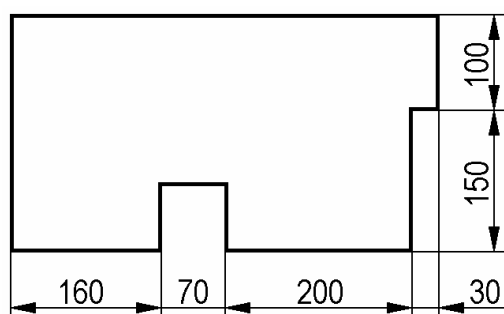
U slučaju kada je oblik jasno prikazan, simboli za promjer i kvadrat mogu se izostaviti.

9.4. Načini kotiranja

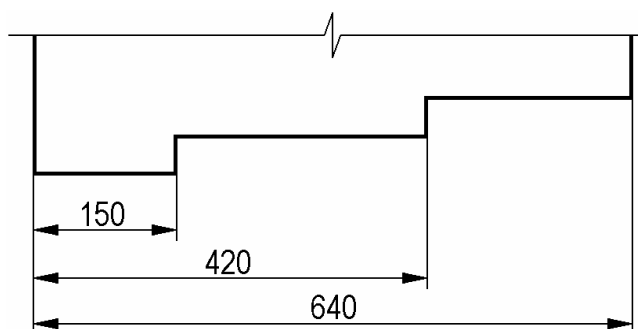
Sređeno kotiranje na crtežu jasno određuje namjenu crteža. Općenito, sređenost dimenzija (izmjera) rezultat je kombiniranja različitih crtačkih zahtjeva.

9.4.1. Lančano kotiranje

Lanci pojedinačnih dimenzija (slika 9.31.) primjenjuju se isključivo tamo gdje zbroj odstupanja pojedinačnih izmjera neće utjecati na zahtjeve funkcije strojnog dijela. Za lančano kotiranje može se upotrebljavati bilo koji završetak mjernice izuzev strelice sa šiljkom kuta 90° (vidi sliku 9.11.).



Slika 9.31. Lančano kotiranje

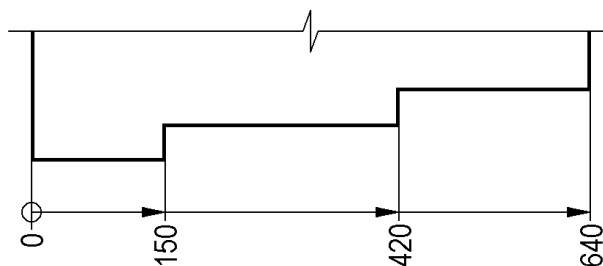


Slika 9.32. Paralelno kotiranje

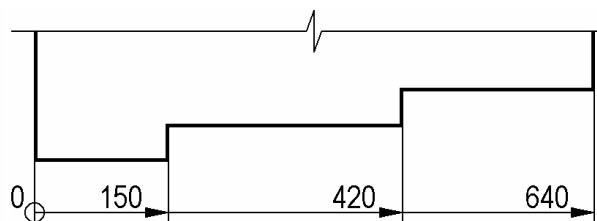
9.4.2. Kotiranje od zajedničke osnove

Ovaj način kotiranja koristi se u slučajevima kod kojih mnoštvo dimenzija istog smjera ima vezu sa zajedničkom referentnom crtom ili točkom. Kotiranje od zajedničke osnove može biti izvedeno kao paralelno kotiranje ili kao nadređeno slijedno kotiranje.

Paralelno kotiranje je postavljanje mnoštva pojedinačnih mjernica koje su međusobno paralelne i smještene tako da se vrijednosti dimenzija mogu lako dodati (vidi slike 9.32. i 9.40.) u odnosu na zajedničku referentnu crtu. Nadređeno slijedno kotiranje je pojednostavnjeno paralelno kotiranje, a može biti upotrijebljeno tamo gdje je prostor ograničen i gdje ne postoji problem čitljivosti (slike 9.33. i 9.34.).



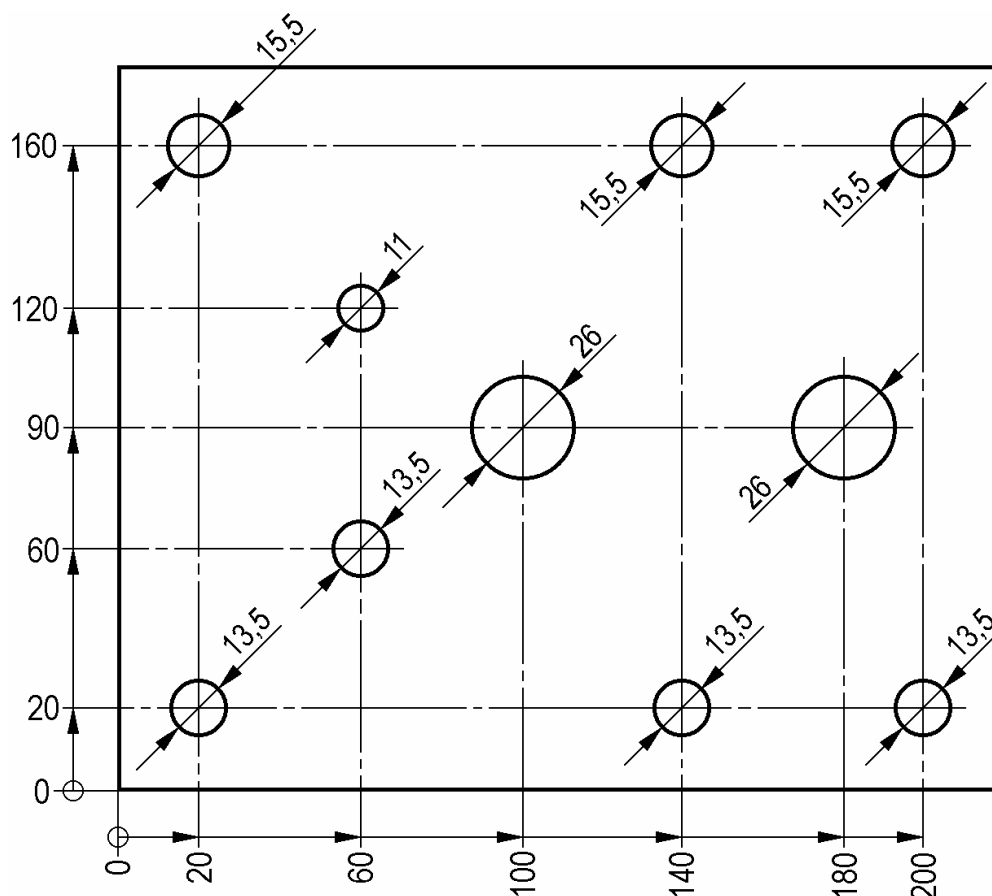
Slika 9.33.



Slika 9.34.

Oznaka početka kotiranja (vidi sliku 9.11.f) smještena je pogodno na jednom kraju, a drugi (suprotni) kraj mjernice određen je samo jednom strelicom. Vrijednosti dimenzija mogu se smjestiti tamo gdje ne postoji opasnost od zabune, kao npr.: blizu strelice, u produžetku pomoćne mjerne crte (slika 9.33.), ili – blizu strelice, iznad mjernice (slika 9.34.).

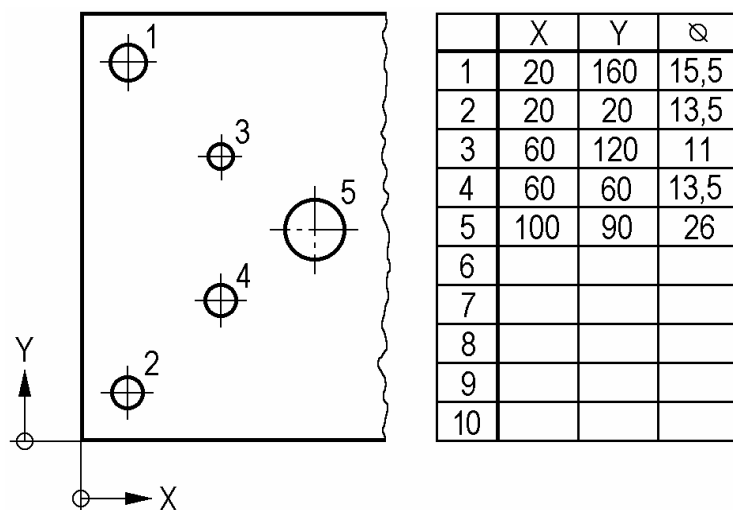
U pojedinim slučajevima pogodna je primjena nadređenog slijednog kotiranja u dva pravca. Tada oznake početka kotiranja moraju biti prikazane kao što je to dano na slici 9.35.



Slika 9.35.

9.4.3. Kotiranje pomoću koordinata

Ponekad je korisno i praktično upotrijebiti prikazivanje vrijednosti dimenzija u obliku tablice, kao na slici 9.36., umjesto kotiranja prikazanog na slici 9.35. Koordinate za presjeke u mrežama (rešetkama) na blok-planovima (planovima položaja) prikazuju se kao na slici 9.37. Koordinate za proizvoljne točke značajki bez mreže (rešetke) pojavljuju se usporedno za svaku točku (vidi sliku 9.38.) ili u obliku tablice (vidi sliku 9.39.).

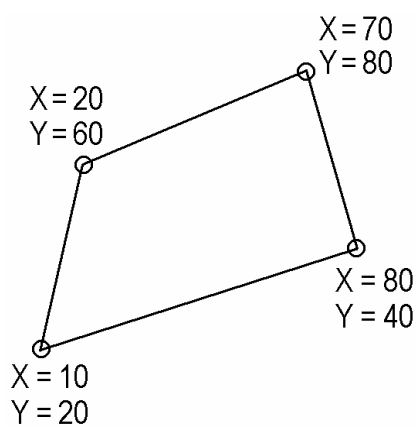


Slika 9.36.

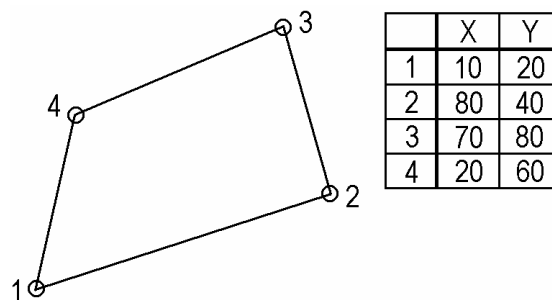
$$X = 0$$

$$+ Y = 100$$

Slika 9.37.



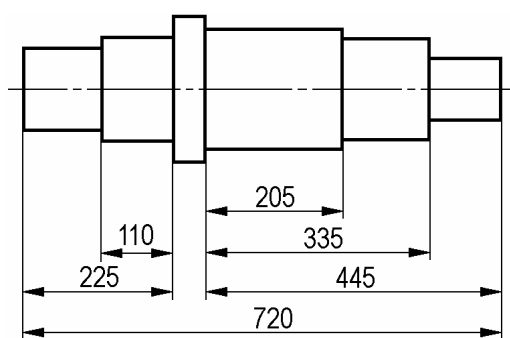
Slika 9.38.



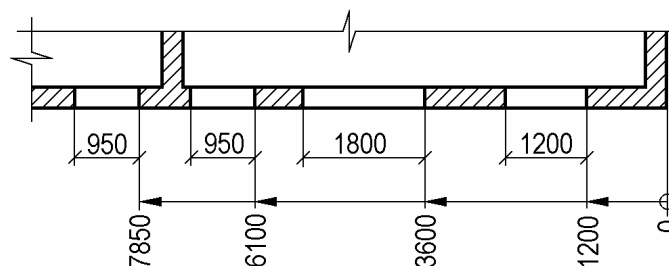
Slika 9.39.

9.4.4. Kombinirano kotiranje

Pojedinačno kotiranje, lančano kotiranje i kotiranje od zajedničke referentne crte (značajke) može biti kombinirano na crtežu, ako je to nužno. Vidi slike 9.40. i 9.41.



Slika 9.40.

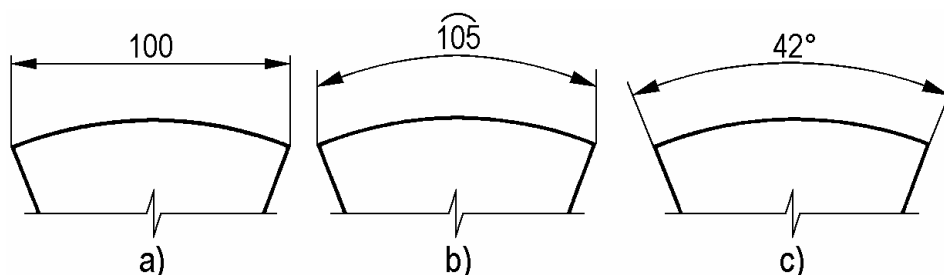


Slika 9.41.

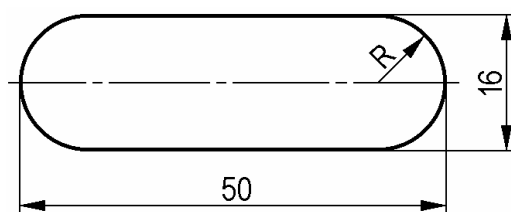
9.5. Posebno označavanje

9.5.1. Tetine, lukovi, kutovi i polumjeri

Kotiranje tetiva, lukova i kutova moguće je kao što to prikazuje slika 9.42. (a, b i c). Gdje središte luka pada izvan granica raspoloživog prostora, mjernica polumjera može biti slomljena ili prekinuta, već prema tome je li ili nije potrebno odrediti središte (vidi sliku 9.14.).



Slika 9.42.

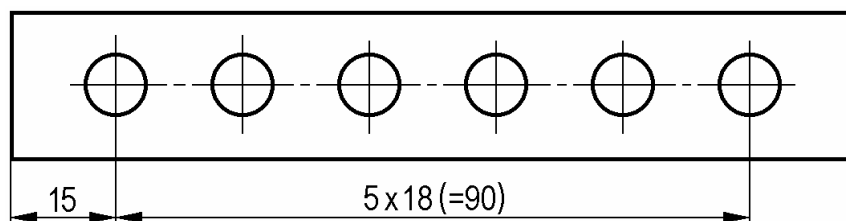


Slika 9.43.

Gdje veličina polumjera može biti izvedena od drugih dimenzija, ona može biti označena polumjerom, strelicom i simbolom R bez oznake vrijednosti kao na slici 9.43.

9.5.2. Ekvidistantne crte (značajke)

Gdje su ekvidistantne crte ili sukladno sređeni elementi dio specifikacije crteža, dimenzioniranje se može pojednostaviti kao što je obrazloženo u nastavku. Linearno raspoređeni razmaci između provrta mogu biti dimenzionirani kao što je prikazano na slici 9.44. Ako postoji bilo kakva mogućnost zabune između duljine razmaka i broja provrta, jedan razmak dimenzionira se (kotira) kao na slici 9.45.

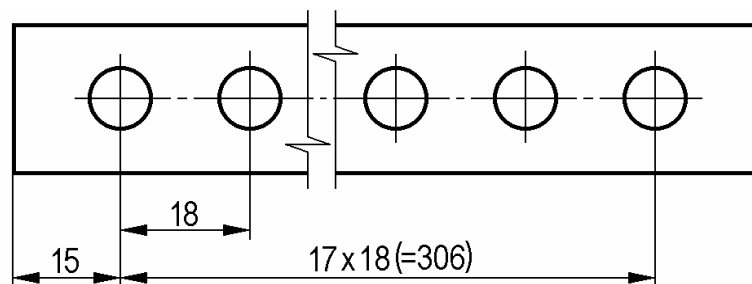


Slika 9.44.

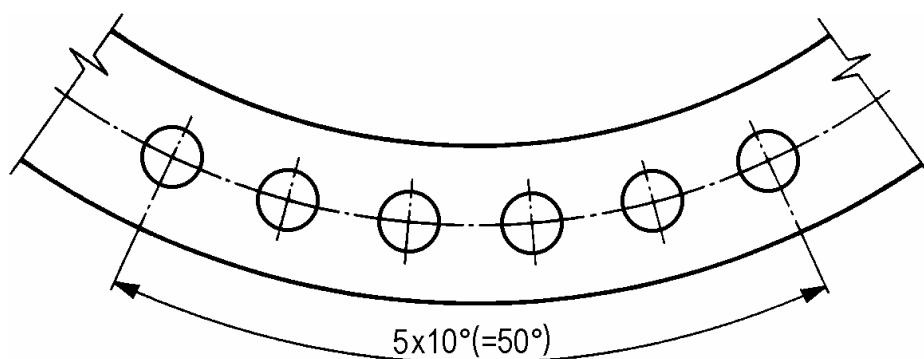
Kutno raspoređeni razmaci između provrta mogu biti kotirani kao što je to prikazano na slici 9.46.

Kutovi razmaka mogu biti izostavljeni ako je njihov broj vidljiv, bez mogućnosti zabune (slika 9.47.).

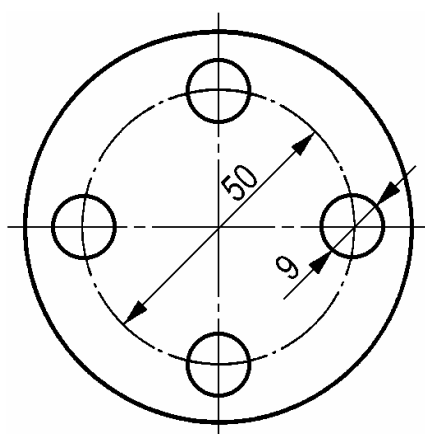
Kružno raspoređeni razmaci mogu biti kotirani neizravno navođenjem broja elemenata kao što je dano na slici 9.48.



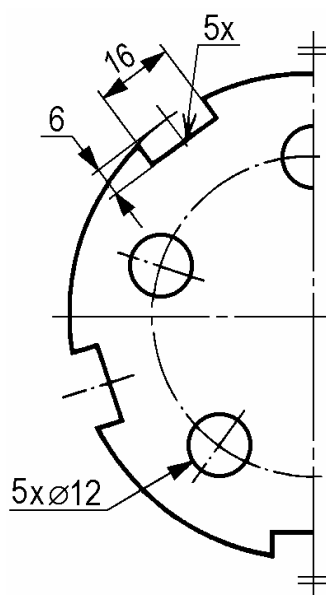
Slika 9.45.



Slika 9.46.



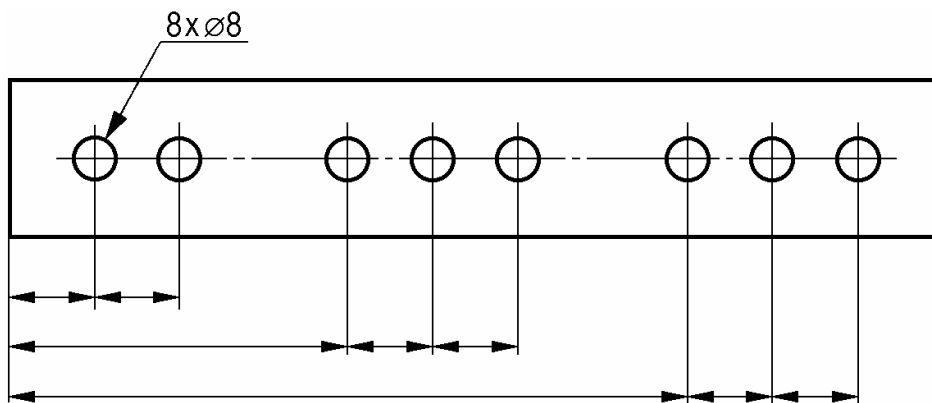
Slika 9.47.



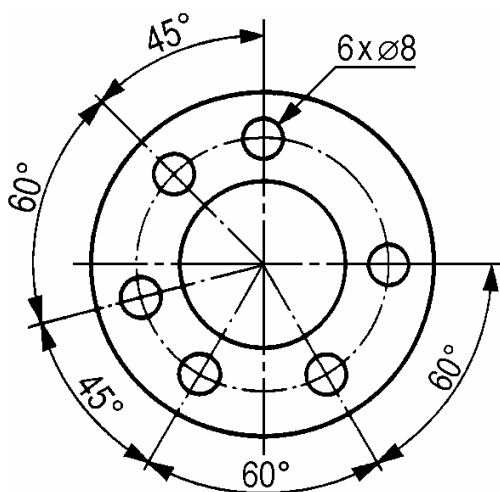
Slika 9.48.

9.5.3. Ponovljene značajke

Ako je moguće definirati veći broj elemenata iste veličine tako da se izbjegne ponavljanje istih dimenzijskih vrijednosti, oni mogu biti dani kao što je prikazano na slikama 9.49. i 9.50.



Slika 9.49.

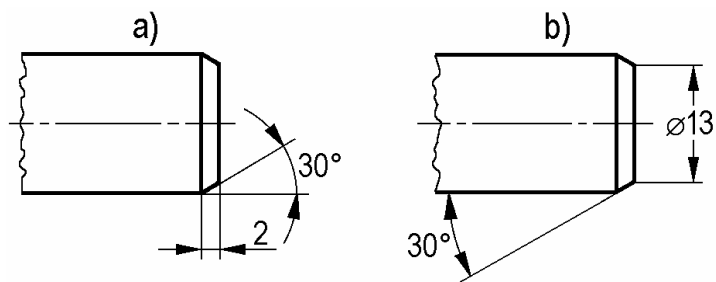


Slika 9.50.

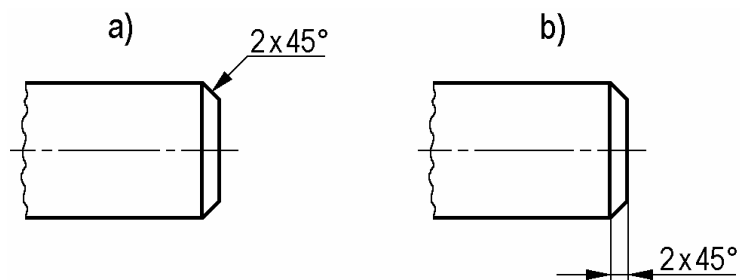
9.5.4. Skošeni rubovi i upušteni rubovi provrta i rupa

Skošeni rubovi kotiraju se kao što je to prikazano na slici 9.51. Gdje je kut skošenja 45° , kotiranje se može izvesti kao što je prikazano na slikama 9.52. i 9.53.

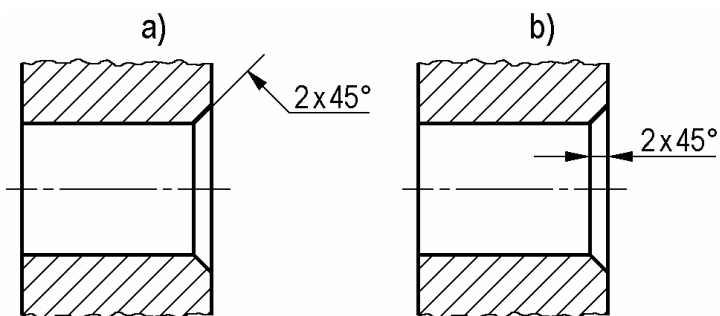
Upušteni rubovi rupa i provrta kotiraju se kao što je prikazano na slici 9.54. Dakle, ili kao tražena dijametralna izmjera na površini s uključenim kutom ili kao dubina s uključenim kutom.



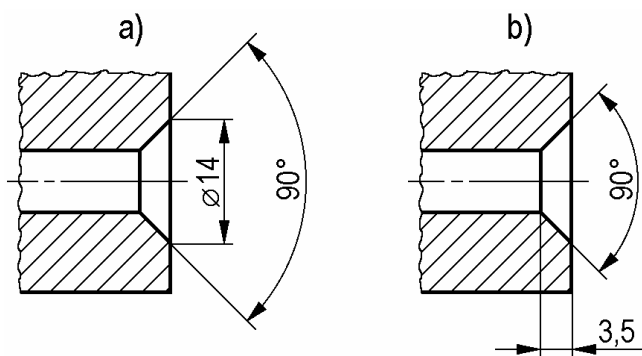
Slika 9.51.



Slika 9.52.



Slika 9.53.



Slika 9.54.

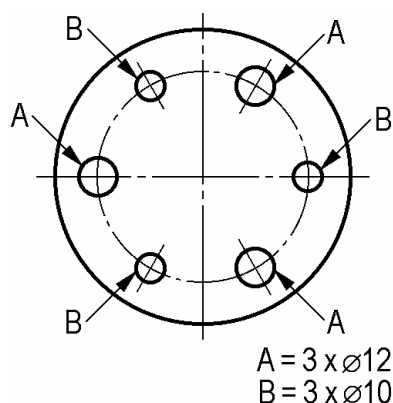
9.6. Ostale oznake

Upotrebom referentnih slova može se kotiranje provrta znatno pojednostavniti (slika 9.55.).

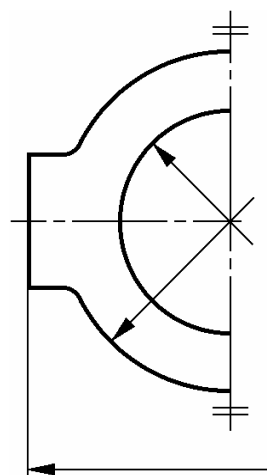
U djelomičnim crtežima pogleda i djelomičnim presjecima (npr. polovičnom)

simetričnih dijelova, mjernica koja mora presjeći os simetrije prikazuje se malo produljena preko osi simetrije, dok je druga strana u ovom primjeru izostavljena (slika 9.56.).

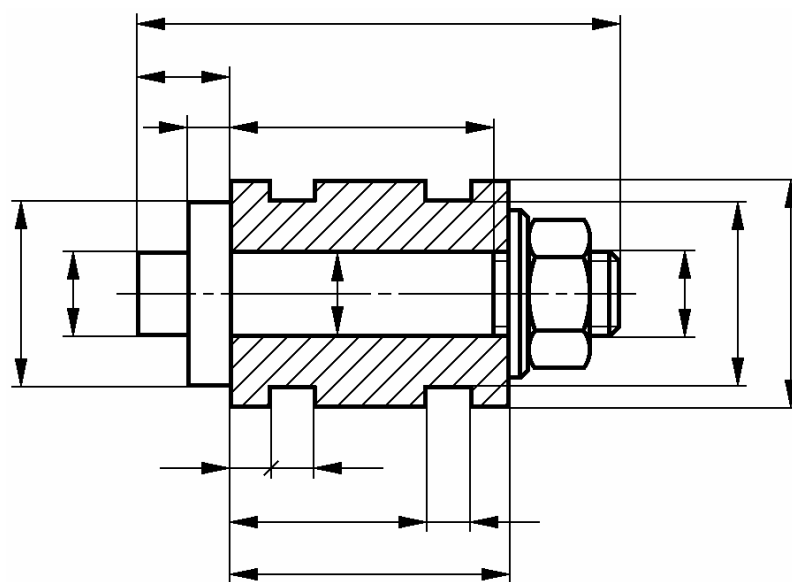
Ako je nekoliko dijelova nacrtano i kotirano na jednom sklopu, skupine izmjera koje su srodne svakom dijelu treba po mogućnosti održati odvojenim (slika 9.57.). Ponekad je potrebno kotirati ograničen prostor ili duljinu površine radi označavanja posebnih zahtjeva. U takvim se slučajevima prostor ili duljina i njihov položaj označavaju crtom oznake 04.2.1 (vidi tablicu 7.10.), nacrtanom usporedno površini i na maloj udaljenosti od nje.



Slika 9.55.

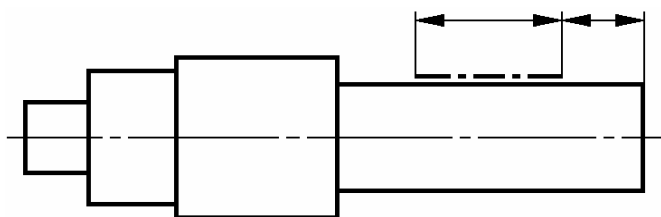


Slika 9.56.

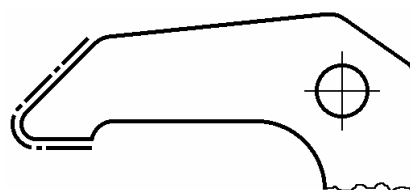


Slika 9.57. Kotiranje sklopnog crteža

Ako je poseban zahtjev primijenjen na neki rotacijski element, oznaka se prikazuje na samo jednoj strani (slika 9.58.). Gdje mjesto i opseg posebnog zahtjeva zahtijeva označavanje, potrebno je prikladno kotiranje. Međutim, gdje crtež jasno prikazuje opseg posebnog zahtjeva, kotiranje nije potrebno (slika 9.59).

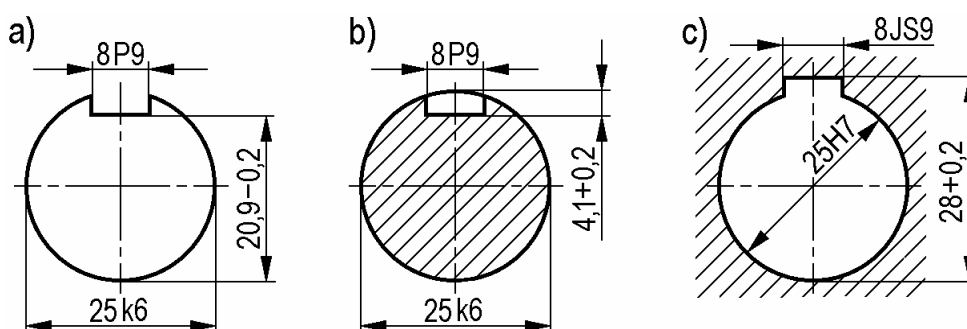


Slika 9.58.

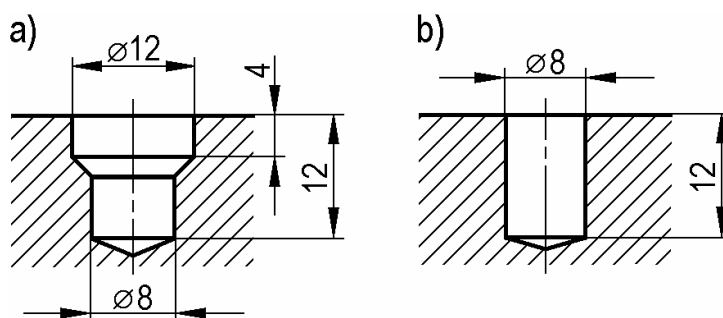


Slika 9.59.

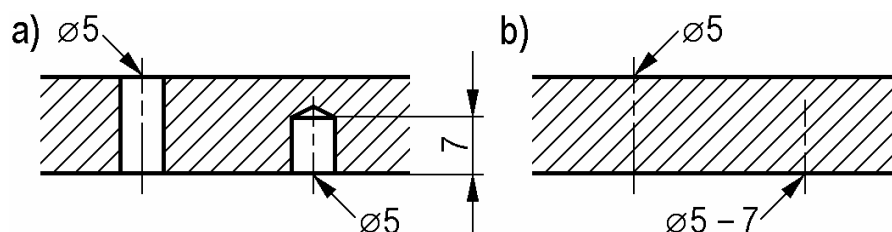
Spoj vratila i glavine ostvaruje se vrlo često pomoću pera i klinova. Utori koji služe za ove spojeve kotiraju se na način prikazan na slici 9.60. Slika 9.60.a prikazuje način crtanja i kotiranja kada je utor za pero ili klin na kraju vratila, slika 9.60.b prikazuje način crtanja i kotiranja kada je utor za pero ili klin na sredini vratila i slika 9.60.c prikazuje način crtanja i kotiranja kada je utor za pero u glavini.



Slika 9.60. Kotiranje utora za pero ili klin (a i b – na vratilu, c – u glavini)



Slika 9.61. Kotiranje rupa



Slika 9.62. Pojednostavnjeno kotiranje rupa

Kotiranje rupa se izvodi tako da položaj se rupe kotira s položajem središnjice. Dubina rupe definira se dubinom cilindričnog dijela, uz crtanje koničnog završetka

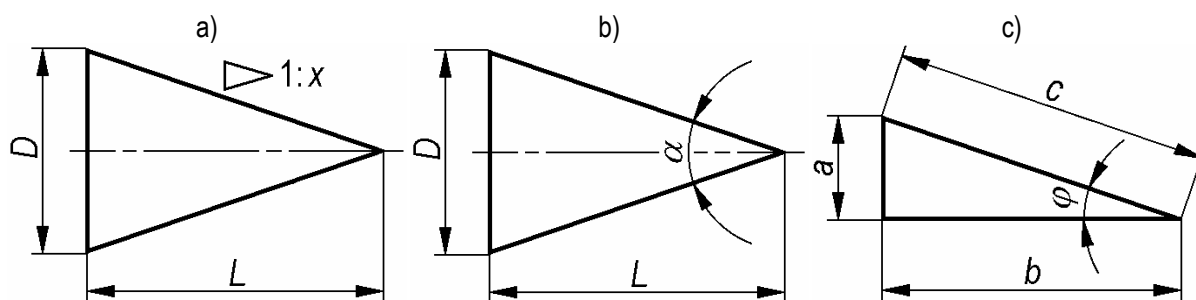
s kutom od 120° , koji je rezultat bušenja svrdlom. Ovaj se završetak ne kotira. Dubina i promjer rupe kotiraju se na istoj projekciji (npr. u nacrtu) (slika 9.61.).

Ako se kotiraju provrti i rupe s promjerom manjim od 5 mm (slika 9.62.a), moguće je prema DIN 30 pojednostavnjeno crtanje i kotiranje (slika 9.62.b).

9.7. Kotiranje konusa, suženja i nagiba

Definiranje konusa i konusnih prijelaza na crtežima, kod dijelova koji su lijevani ili kovani (odnosno kod dijelova kod kojih je konični oblik od podređenog značenja, npr. kod crtala, probijala itd.), moguće je (prema DIN 406 T2, DIN ISO 3040) kotiranjem promjera i duljine konusa. Ako se uvjetuje točnost koničnog oblika, preporuča se označavanje sljedećih podataka na crtežima, npr.:

- pripadnog kuta konusa α ili omjera $1 : x$, označenog odgovarajućim simbolom kod koničnog suženja (položeni trokut s vršnim kutom od 30° , prema ISO 3461-2);
- postavnog kuta $\alpha/2$ kod dijelova koji će se strojno obrađivati;
- promjera na proizvoljno odabranom presjeku, koji može biti unutar ili izvan konusa;
- izmjere koja određuje položaj odabranog presjeka na kojemu je dan promjer.



Slika 9.63. Konus i kut konusa

Uobičajeno je da se konično suženje D/L daje kao omjer $D : L = 1 : x$ (slika 9.63.a). Kut konusa određuje se uz pomoć trigonometrijske funkcije tangensa kuta konusa i iznosi (slika 9.63.b)

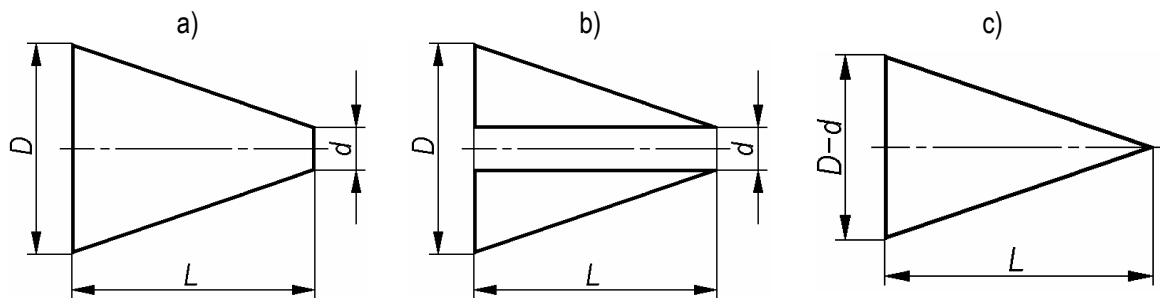
$$2 \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot \frac{D/2}{L}, \text{ odnosno prema slici 9.63.c } \tan \varphi = \frac{a}{b}.$$

Konično suženje kod krnjeg konusa određeno je prema slici 9.64. omjerom

$$\frac{1}{x} = \frac{D-d}{L}.$$

Za strojnu obradu često je potrebna i vrijednost postavnog kuta (npr. za suport kod tokarskog stroja i sl.) za izradu konusa ili koničnog suženja. Vrijednost ovog

kuta stavlja se u zagrade na crtežu (slike 9.65., 9.68., 9.69. i 9.70.).



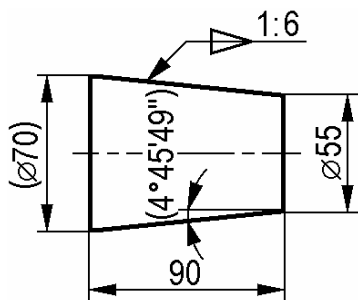
Slika 9.64. Konično suženje kod krnjeg stošca
(a – krnji stožac, b – izrezani pojas, c – referentni trokut)

Postavni kut izračunava se pomoću izraza

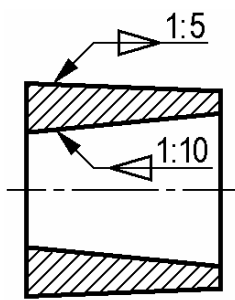
$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D}{2L} \quad \text{- kod konusa,}$$

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2L} \quad \text{- kod koničnog suženja.}$$

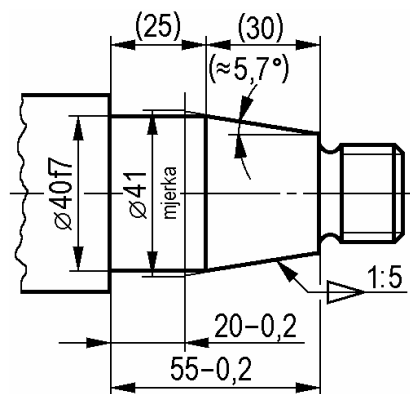
Primjer kotiranja vanjskog konusa s navedenim omjerom i oznakom za konus, promjerom i duljinom koničnog suženja te postavnim kutom kao pomoćnom kotom u zagradama dan je na slici 9.65. Slika 9.66. prikazuje primjer označavanja dvostrukog konusa (vanjski je 1 : 5, a unutarnji je 1 : 10).



Slika 9.65.

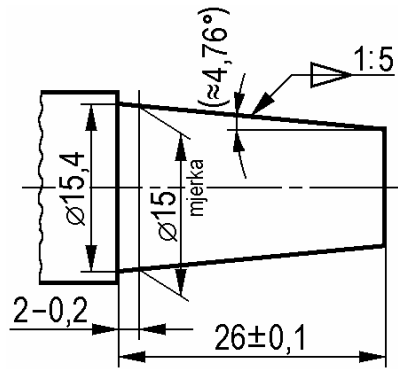


Slika 9.66.

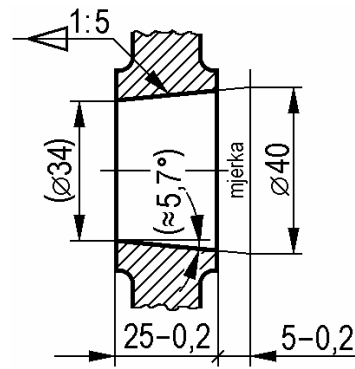


Slika 9.67.

Provjera konusa moguća je pozornijim mjerenjem. Za to je potrebno da se veći promjer mjerke (kalibra) ucrtava na crtež tankom punom crtom na odgovarajućem razmaku od referentnog ruba s toleriranom izmjerom (izmjera 20-0,2 na slici 9.67. i izmjera 5-0,2 na slici 9.69.), ali izvan konusa. Slično treba napraviti i kod slučaja da se promjer mjerke (kalibra) ucrtava unutar konusa tankom punom crtom na odgovarajućem razmaku od referentnog ruba s toleriranom izmjerom (izmjera 2-0,2 na slici 9.68.).

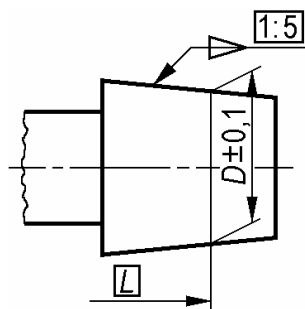


Slika 9.68.

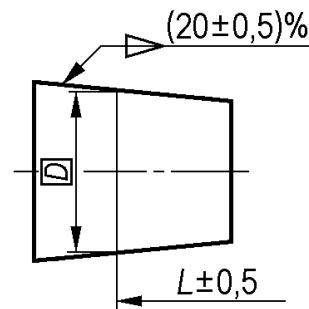


Slika 9.69.

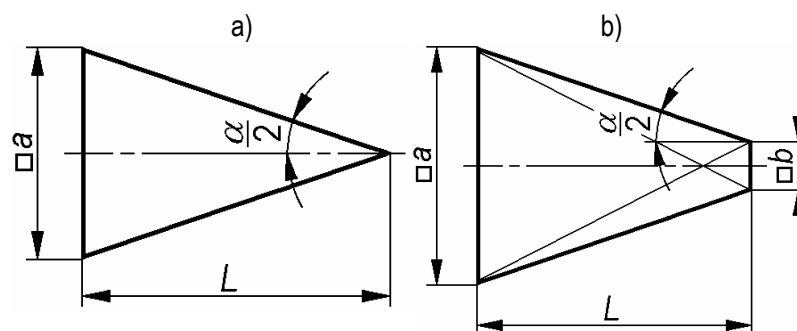
Metoda jediničnog konusa ograničava odstupanje konusa od geometrijski idealnog oblika. Tolerancije promatranog konusa moraju se zadržati unutar graničnog profila. Područje tolerancije određeno je tolerancijom promjera ili izmjere koja određuje presjek na kojem je odabran promjer. U toleriranu izmjeru ulaze teorijske izmjere, koje su prikazane uokvirene (slika 9.70.). Metoda toleriranog kuta konusa daje toleranciju izmjere samo za jedan presjek. Položaj presjeka je određen, a odstupanje koničnog suženja dato je izravno preko njegove tolerancije (slika 9.71.).



Slika 9.70.



Slika 9.71.



Slika 9.72. Piramida (a) i krnja piramida (b)

Suženje, vršni kut i nagib (prema DIN 406 T2) određuju se na sljedeće načine:

$$\frac{1}{x} = \frac{a}{L} \text{ - suženje za piramidu (prema slici 9.72.a),}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{a-b}{L} \text{ - suženje za krnju piramidu (prema slici 9.72.b),}$$

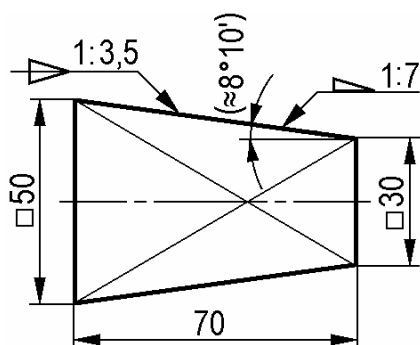
$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{a}{2L} \text{ - polovina vršnog kuta za piramidu (prema slici 9.72.a),}$$

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{a-b}{2L} \text{ - polovina vršnog kuta za krnju piramidu (prema slici 9.72.b),}$$

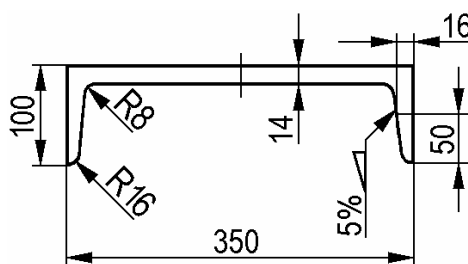
$$\frac{1}{2x} = \frac{a}{2L} \text{ - nagib za piramidu (prema slici 9.72.a),}$$

$$\frac{1}{2x} = \frac{a-b}{2L} \text{ - nagib za krnju piramidu (prema slici 9.72.b).}$$

U crtežima se suženje i nagib predočavaju izvodnicama, a osim brojčane vrijednosti (omjera) stavlja se i oznaka suženja, odnosno nagiba (slika 9.73.). Kut nagiba stavlja se u zagrade.

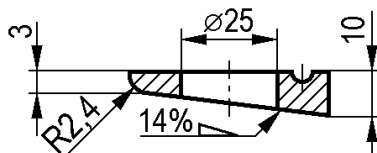


Slika 9.73.

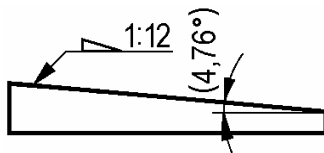


Slika 9.74. Profil U 350 prema DIN 1026

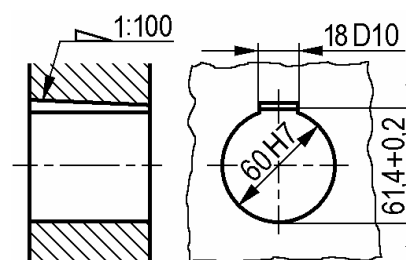
U nekim se slučajevima nagib daje u postotku s obzirom na referentnu ravnu plohu (slike 9.74. i 9.75.). Na slici 9.76. dan je primjer označavanja nagiba kod klina, a na slici 9.77. kod utora za klin.



Slika 9.75. I - podložna pločica prema DIN 435-25



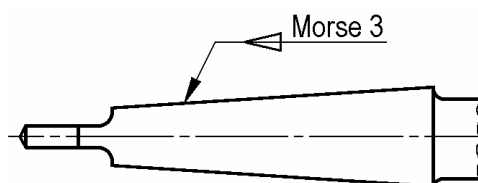
Slika 9.76. Klin



Slika 9.77. Utor za klin

Radi praktičnosti primjene velik broj konusa je normiran kako je pokazano u tablici 9.1. Posebno se to odnosi na Morseove konuse kao konične izdanke na alatima i prihvatne konične uvrte, odnosno provrte na vretenima alatnih strojeva.

Ako se radi o Morseovom konusu tada se koristi pojednostavnjeno kotiranje prema DIN ISO 3040 prikazano na slici 9.78.



Slika 9.78. Morseov konus

Tablica 9.1 Normirani konusi prema DIN ISO 3040

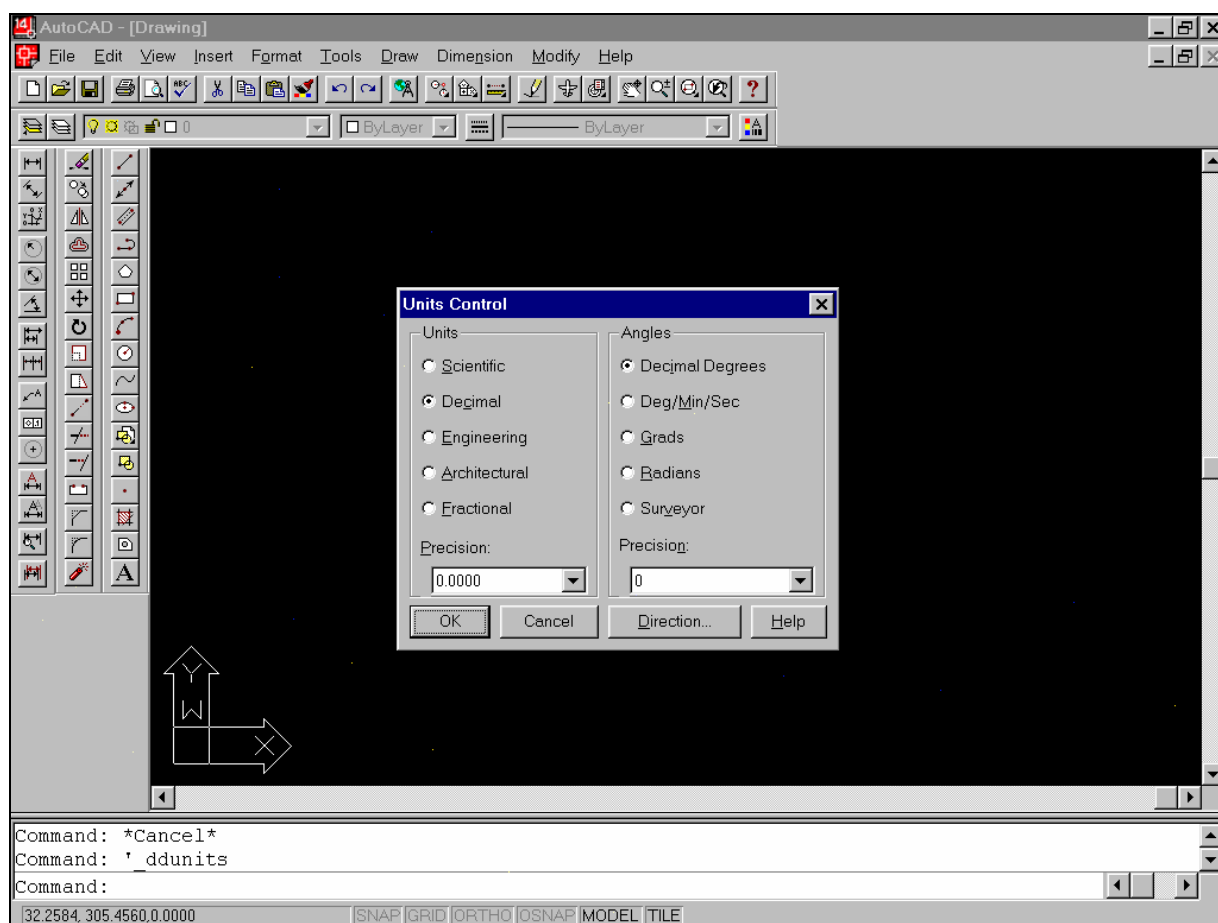
Konus C	$\alpha/2$	Primjeri primjene
1 : 50	34' 23"	Konični zatici, konični cijevni navoj
1 : 30	57' 17"	Provrti natičnih razvrtača i upuštača
1 : 19,212	1° 29' 27"	Morse – konus 0
1 : 20,047	1° 25' 43"	Morse – konus 1
1 : 20,020	1° 25' 50"	Morse – konus 2
1 : 19,922	1° 26' 16"	Morse – konus 3
1 : 19,254	1° 29' 15"	Morse – konus 4
1 : 19,002	1° 30' 26"	Morse – konus 5
1 : 19,180	1° 29' 36"	Morse – konus 6
1 : 20	1° 25' 56"	Metrički konus. Vretena alata i strojeva, fini konični navoj naprava za lemljenje
1 : 15	1° 54' 33"	Stapajice lokomotiva, glavine brodskih vijaka
1 : 12	2° 23' 9"	Valjni ležaji, konusi na polugama čekića za bušenje
1 : 10	2° 51' 45"	Svornjaci spojki, dijelovi opterećeni uzdužno i poprečno i na savijanje i torziju
1 : 6	4° 45' 49"	Vranj slavine, svornjak križne glave lokomotive, glodala za ukovnje
1 : 5	5° 42' 38"	Tarne spojke, lakorastavljivi dijelovi opterećeni poprečno i na torziju
1 : 4	7° 7' 30"	Alatni strojevi, konični navoj u tehnici dubokog bušenja i u rudarstvu
1 : 3	9° 27' 44"	Stapajica i križna glava brodskih strojeva, alati na komprimirani zrak
1 : 0,866	30°	Točkala, centrirni uvrta, upušteni vijci, lećaste zakovice, skošenja vijaka
1 : 0,500	45°	Konus ventila, upušteni vijci za drvo, upuštene zakovice, točkala
1 : 0,289	60°	Zaštitno skošenje centrirnih uvrta, skošenja provrta matica
1 : 0,134	75°	Upuštene zakovice, lećaste upuštene zakovice

10. Računalom podržan sustav za crtanje

Computer-aided Drawing System

Računalom podržan sustav za crtanje skup je programskih alata (softvera, engl. software) koji omogućavaju izradu i preinaku strojarskih, arhitektonskih, elektrotehničkih i elektroničkih crteža, shema i dijagrama te raznih drugih tipova inženjerskih i drugih crteža na osnovi interaktivnog djelovanja konstruktora ili dizajnera. Ovaj sustav također ažurira i bazu podataka pohranjivanjem rezultirajućih crteža i preinaka na njima. Pomoću računalom podržanog sustava za crtanje lako se može izraditi nov crtež iz pohranjenog crteža. Vrlo teško se može ocijeniti njegova prednost pri izradi potpuno novog crteža, za razliku od njegove moćnosti kada se koriste za preinaku postojećih crteža.

U nastavku će se ukratko opisati zajedničke funkcije koje posjeduje većina računalom podržanih sustava za crtanje [17]. Specifične naredbe za svaku funkciju mogu se manje ili više razlikovati u pojedinom sustavu, zbog toga je potrebno detaljno proučiti odgovarajuće upute za korisnike i upoznati se s posebnostima njihove uporabe.



Slika 10.1. Komunikacijski prozor za kontrolu i podešavanje jedinica duljinskih i kutnih mjera kod programskog paketa AutoCAD Release 14 [17]

10.1. Postavljanje parametara crteža

Prvi korak koji treba napraviti u uporabi računalom podržanog sustava za crtanje jest postavljanje parametara crteža, kao što su jedinice duljinskih i kutnih mjera, granice crteža, koordinatna mreža i slojevi ili razine. Radi brzog i točnog nastajanja crteža ovi se parametri moraju postaviti onako kako je to propisano. Crtež se može raditi i bez koordinatne mreže i bez razina, no uz velik gubitak vremena i vrlo tešku kasniju preinaku crteža.

10.1.1. Jedinice

Treba odabrati oblik i točnost jedinica duljinskih i kutnih mjera. Oblici jedinica duljinskih mjera su npr. znanstveni, decimalni, razlomski, inženjerski i arhitektonski. Oblici jedinica kutnih mjera su decimalni stupnjevi, stupnjevi (stupnjevi, minute i sekunde), nagibi, radijani i premjerne jedinice. Slika 10.1. prikazuje komunikacijski prozor za kontrolu i podešavanje jedinica duljinskih i kutnih mjera kod programskog paketa AutoCAD¹ Release 14, koji je jedan od danas najpopularnijih i najdostupnijih računalom podržanih sustava za crtanje.

10.1.2. Veličina (granice) crteža

Kada se izrađuje crtež na papiru, pretpostavlja se crtanje isključivo unutar dopuštenih granica lista papira. Slično je kada se crtež oblikuje na grafičkom zaslonu računala, crtež treba ograničiti dopuštenim granicama s obzirom na to da će crtež prikazan na zaslonu možda biti iscrtan na papiru konačnih izmjera. Prema tome potrebno je predvidjeti veličinu crteža npr. u mm za npr. format A2 (594 x 420), što je u AutoCAD Release 14 moguće na sljedeći način:

Command: **limits**

Reset Model Space Limits

ON/OFF/<Lower left corner><0.00,0.00>:10,10

Upper right corner<12.00,9.00>:**594,420**

(svaku naredbu potvrditi tipkom ENTER)

Parametri koji se obično uzimaju u obzir pri određivanju granica površine crteža jesu sljedeći [17]:

- stvarna veličina crteža;
- prostor potreban za izmjere (dimenzije), primjedbe ili bilješke, podatke o materijalu i druge potrebne oznake na crtežu;
- prostor između različitih projekcija i pogleda, tako da je crtež pregledan; i
- prostor za granice te zaglavlje (ako postoji).

¹ AutoCAD je ime računalom podržanog sustava za crtanje koji je razvio Autodesk, Inc., San Rafael, CA, USA

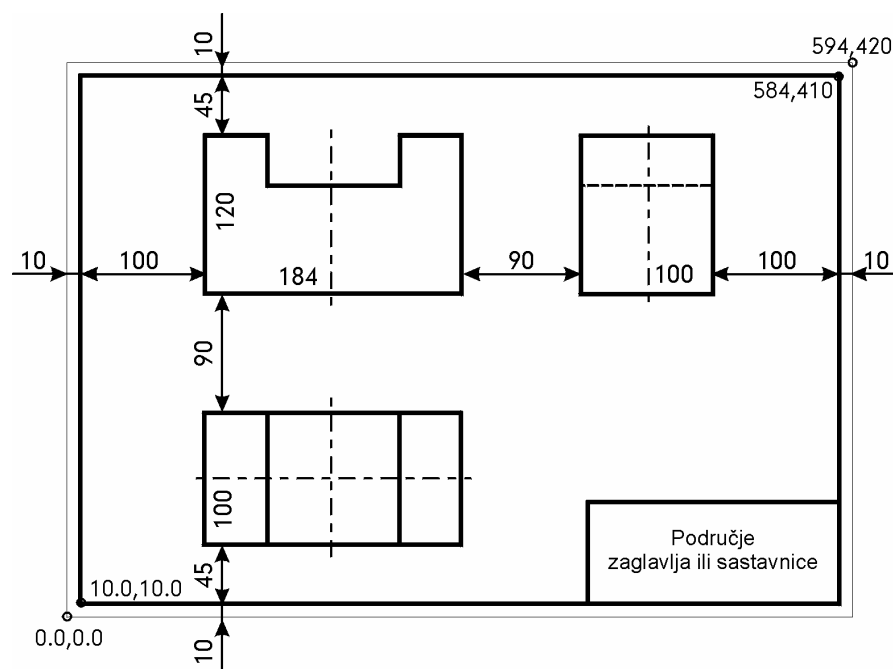
Prije postavljanja takvih granica trebalo bi nacrtati skicu crteža radi grubog izračunavanja potrebnog prostora. Npr. za objekt koji ima nacrt od 184 x 120 mm, bokocrt od 100 x 120 mm i tlocrt od 184 x 100 mm, granice treba postaviti tako da se u područje crteža može smjestiti crtež objekta i sve ono što pripada objektu. Kao što je to prikazano na slici 10.2., pretpostavljen je prostor između nacrta i bokocрта 90 mm, a između nacrta i tlocrta također 90 mm. Također je pretpostavljen i prostor između lijeve i desne granice crteža od 100 mm, a od donje i gornje granice crteža od 45 mm. Predviđen je i prostor između granica crteža i ruba papira od 10 mm. Dakle, prostor treba odrediti tako da kompletan crtež ima uravnotežen izgled.

Nakon određivanja veličine potrebnih projekcija (ili pogleda) i gore opisanih prostora mogu se izračunati konačne granice crteža kao što slijedi:

granica u smjeru x = $10 + 100 + 184 + 90 + 100 + 100 + 10 = 594$ mm

granica u smjeru y = $10 + 45 + 100 + 90 + 120 + 45 + 10 = 420$ mm

Dakle, granice crteža su 594 x 420 mm.

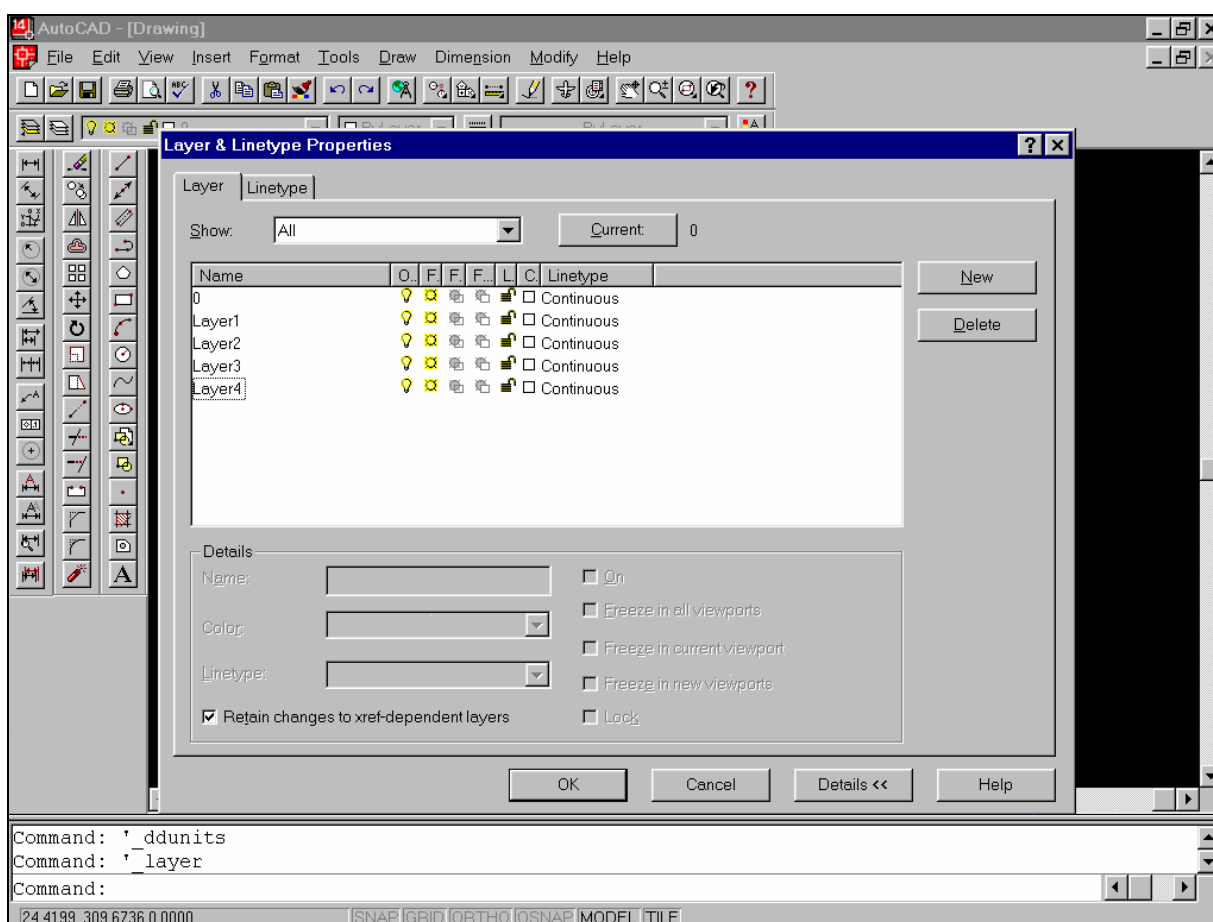


Slika 10.2. Postavljanje granica crteža

Crtež prikazan na slici 10.2. izrađen je u mjerilu 1:1. Međutim, kada se crtež želi iscrtati (plotati, printati) i dobiti njegova kopija na papiru, potrebno je primijeniti mjerilo za smanjenje ili uvećanje crteža sukladno raspoloživoj veličini papira. Ustvari, veličina papira određuje granice crteža, veličinu teksta, faktore omjera izmjera, vrstu i širinu crta, kao i druge parametre crteža. Normizirane veličine formata papira i odgovarajuće granice crteža dane su u točki 7.2. u tablici 7.2.

10.1.3. Slojevi ili razine

Pogodno je crtež organizirati u više slojeva ili razina, posebice kada je crtež složen. Npr. može se raditi s više jednostavnih crteža u slučaju crtanja cijevnih vodova u planu katova čitave zgrade u posebnim slojevima ili razinama. Na taj se način postiže lakše rukovanje s jednostavnim crtežima u zasebnim razinama, u usporedbi sa složenim crtežom koji sadrži sve parametre koji na njemu moraju biti prikazani. Međutim, treba biti omogućen istodoban uvid u jedan i drugi tip crteža radi stjecanja osjećaja za relativni položaj parametara ili objekata na različitim razinama (npr. relativni položaj cijevi na pojedinim razinama i zidova zgrade). Slojevito crtanje dopušta preklapanje razina bez povećanja složenosti crteža, makar tijekom izvođenja grafičkih operacija. Razina u kojoj se trenutno radi je aktivna, dok su sve ostale razine neaktivne. Gotovo s ulogom pozadine, grafički elementi u neaktivnoj razini neosjetljivi su na grafičke operacije kao što su prijenos i brisanje. Na taj se način čini da je složenost crteža jednaka onoj koja bi se postigla izradom u aktivnim razinama.



Slika 10.3. Kontrolni komunikacijski prozor za postavljanje razina u AutoCAD Release 14 [17]

Funkcija razine (layer) može se koristiti djelotvorno za generiranje sastavnih crteža za montažu. Ako je svaka komponenta nacrtana na posebnoj razini za plan montaže, tada se bilo koji cjeloviti crtež može lakše generirati postavljanjem iznad

odgovarajuće razine te preinakom ili dodavanjem nekih novih detalja. Slika 10.3. prikazuje kontrolni komunikacijski prozor za postavljanje razina u AutoCAD Release 14.

10.1.4. Koordinatna mreža i hvatanje

Opća je praksa kod ručnog crtanja crteža nacrtati konstrukcijske (pomoćne) crte, upotrebljavajući T – ravnalo ili crtaću ploču, tako da se preko njih mogu lakše i jednoobrazno nacrtati granice crteža i druge crte na crtežu. Crte koordinatne mreže (grid) koje osigurava računalom podržan sustav za crtanje imaju jednaku namjenu kao i konstrukcijske (pomoćne) crte pri ručnom crtanju. To jest, vodoravne i okomite crte koordinatne mreže nacrtane su s pravilnim razmakom koje se prilagođava željenoj gustoći (rezoluciji), a crte crteža crtaju se preko njih. U nekim računalnim sustavima za crtanje prikazuju se samo točke koordinatne mreže.

Za crtanje ravne crte preko crte koordinatne mreže (grida) potrebno je odrediti položaj dviju krajnjih točaka. U tu se svrhu moraju predvidjeti njihove koordinate uz pomoć tipkovnice ili pritiska tipke miša kada se kursor nađe na željenoj poziciji na zaslonu. Treba imati na umu da je putanja kursora jednaka gibanju miša kada je miš u tzv. locator modu.

Položaj točke, određen pomicanjem kursora (pokazivača) mišem, nije uvijek potpuno točan zbog nestabilnog gibanja crtačeve ruke ili netočnog mehanizma miša. Ovaj se problem može izbjeći postavljanjem kursora tako da se izabere najbliža presječna točka crta koordinatne mreže. Vrijednosti koordinata u odnosu na presječnu točku vidljive su pritiskom tipke miša. Dakle, točnost granica koordinatnih točaka određena je podesivom rezolucijom koordinatne mreže predložene na zaslonu. Naredba se zove hvatanje (snapping). Naredba za koordinatnu mrežu u AutoCAD Release 14 aktivira se na sljedeći način:

Command: **grid**

Grid spacing(X) or ON/OFF/Snap/Aspect<0>: **0.75**/*the gap between the grid lines are set to be 0.75 screen unit*/

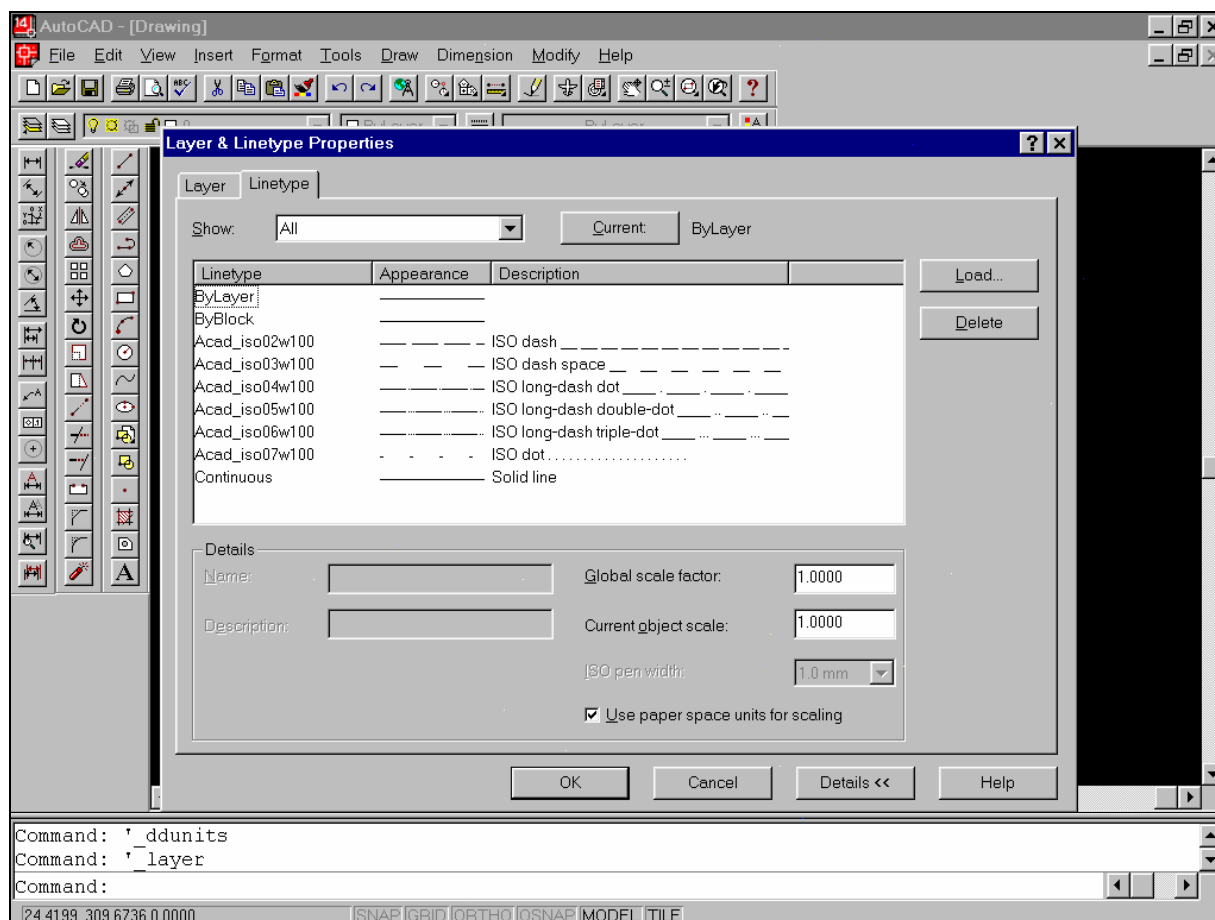
10.2. Osnovne funkcije crtanja

10.2.1. Ravna crta

Postoji mnogo načina crtanja ravne crte na računalom podržanom sustavu za crtanje. Najpopularniji način je pomoću određivanja dviju krajnjih točaka crte, s tim da se i njihov položaj može odrediti na različite načine. U prethodnoj su točki pokazana dva načina: određivanjem koordinata točke i pomicanjem tipke miša u locator mod. Kao dopuna, položaj se točke može odrediti izborom (hvatanjem) postojeće točke.

Crta se također može crtati bez potpunog određivanja dviju krajnjih točaka, npr. ako se na postojeću zakrivljenu crtu sustava nacrtat tangenta iz druge određene

točke. U ovom se slučaju točno mora odrediti ova druga točka, a sustav tangentom određuje drugu krajnju točku.



Slika 10.4. Kontrolni komunikacijski prozor za postavljanje tipova ravnih crta u AutoCAD Release 14 (isti se koristi i za postavljanje razina) [17]

Tip i debljina crta mogu se specificirati kao atributi crte. Slika 10.4. prikazuje kontrolni komunikacijski prozor za postavljanje tipova ravnih crta u AutoCAD Release 14. Ove tipove crta općenito podupire većina računalom podržanih sustava za crtanje. Crtanje ravnih crta u AutoCAD Release 14 uključuje sljedeće:

Command: **line**
 From point: **1,1**
 To point: **5,2**
 To point: **return**

10.2.2. Kružnica i kružni luk

Osnovna metoda definiranja kružnice jest predviđanje njezinog središta i polumjera ili predviđanje triju točaka na kružnici. Većina računalom podržanih sustava za crtanje dopušta također crtanje kružnice pomoću drugih metoda. Npr. moguće je crtanje tangente kružnice u odnosu na dvije ravne crte ili crtanje tangente u odnosu na kružnicu i ravnu crtu. U drugom slučaju može se izabrati

odgovarajući entitet. Kružni luk poseban je slučaj kružnice i može se odrediti specificiranjem početne i krajnje točke kao dopune uz parametre cijele kružnice. Kružnica se u AutoCAD Release 14 crta kao što slijedi:

Command: **circle**

3P/2P/TTR/<Center point>: **5,5**

Diameter/<Radius><current>: **3**

Za tri zadane točke kružnog luka može ga se nacrtati sljedećom naredbom:

Command: **arc**

Center/<Start point>: **7,4**

Center/End/<Second point>: **6,5**

End point: **6,3**

10.2.3. Zakrivljena crta (spline)

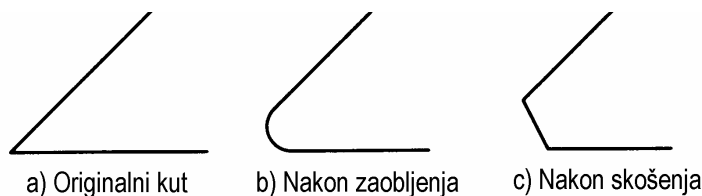
Funkcija zakrivljene crte (spline) rabi se za crtanje proizvoljne krivulje na isti način kao da se crta ručno uz pomoć podesivih krivuljara,² tj. predvide se točke na željenoj krivulji, a zatim se odredi krivulja koja interpolira ove točke. Rezultirajuća krivulja obično je predstavljena jednadžbom trećeg reda. U nekim slučajevima krivulja može biti generirana iz nekih kontrolnih točaka umjesto točaka koje leže na krivulji, s time da kontrolne točke koje određuju krivulju ne mogu ležati na njoj.

10.2.4. Brisanje (deleting)

Funkcija brisanja djeluje kao brisanje koje se izvodi gumicom za brisanje pri ručnom crtanju olovkom. Kada se izabere grafički entitet kao što je točka, crta ili krivulja, aktiviranjem naredbe brisanje isti će nestati sa zaslona.

10.2.5. Zaobljavanje i zarubljivanje (filleting i chamfering)

Zaobljavanje (filleting) je dodavanje kružnog luka između dviju crta koje se sijeku (slika 10.5.a), na taj način da su obje crte tangente na dodan kružni luk (slika 10.5.b). Zarubljivanje (chamfering) je slično zaobljivanju, s tim da se umjesto kružnog luka dočrtava ravna crta (tetiva na zamišljeni kružni luk) (slika 10.5.c).



Slika 10.5. Zaobljavanje (filleting) i zarubljivanje (chamfering)

² Pribor za crtanje različitih zakrivljenih crta.

Zaobljivanje i zarubljivanje izvodi se na sljedećim primjerima:

- Kada su određeni polumjeri zaobljenja ili veličina zarubljivanja.
- Kada su odabrane dvije crte koje se sijeku. Zaobljivanje ili zarubljivanje dodat će se na kutu izabranih crta.
- Nepotrebne točke originalnih crta obrisane su nakon što je dodano zaobljivanje ili zarubljivanje. U nekim se sustavima ovo brisanje izvodi automatski, a u nekim ga treba napraviti ručno (mišem, tipkovnicom).

Zaobljenje se u AutoCAD Release 14 može dati kao što slijedi:

Command: **fillet**

(TRIM mode) Current fillet radius= 10.00

Polyline/Radius/Trim/<Select first object>: r

Enter fillet radius<current><current>: **3**

(TRIM mode) Current fillet radius= 3.00

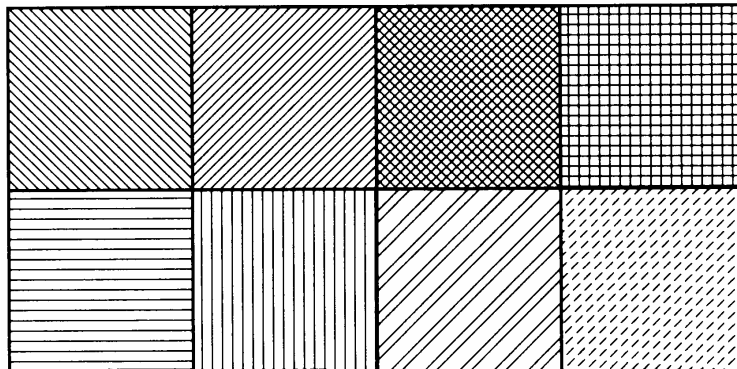
Command: **fillet**

Polyline/Radius/Trim/<Select first object>: /*The first line is picked*/

Select second line: /*The second line is picked*/

10.2.6. Iscrtavanje ili šrafiranje (hatching)

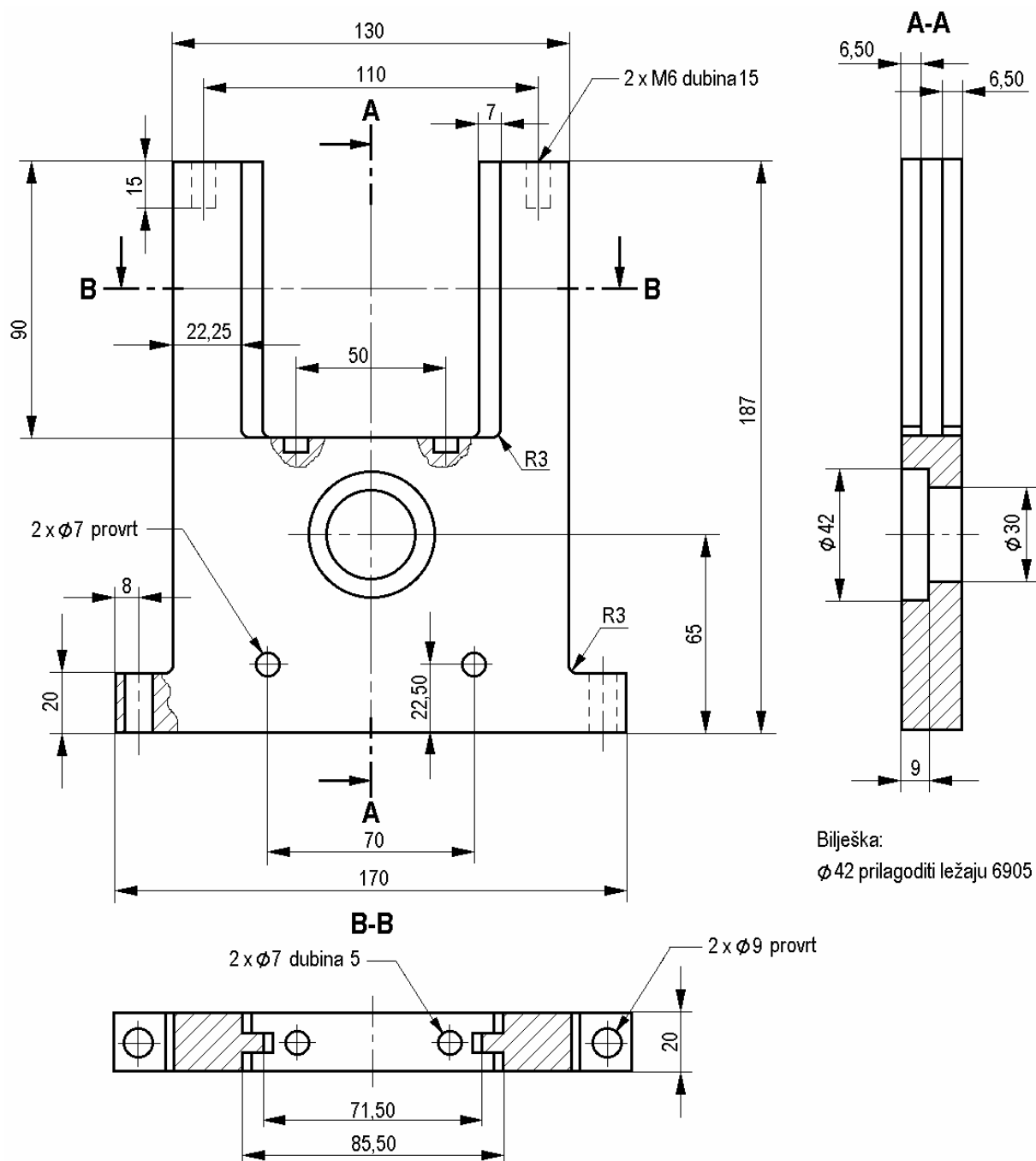
Iscrtavanje ili šrafiranje ispunjava zatvoreni poligon sa specifičnim uzorkom. Često se koristi za prikazivanje presjeka u strojarskim crtežima i različitih materijala u arhitektonskim i građevinskim crtežima. Na slici 10.6. prikazani su neki tipični uzorci zastupljeni u većini računalom podržanih sustava za crtanje.



Slika 10.6. Tipični uzorci za iscrtavanje ili šrafiranje

Prvi korak u iscrtavanju (šrafiranju) je specificiranje zatvorenog poligona koji treba iscrtati (šrafirati). To se može napraviti uporabom sljedećih dviju metoda. U nekim sustavima mogu se izabrati sve granične crte koje određuju poligon, a u nekim se izabire samo jedan granični element, dok sve ostale granične elemente sustav pronalazi automatski. Ako unutar poligona postoje neka područja koja ne treba iscrtavati, kao što su provrti i rupe, potrebno je također specificirati granice ovih područja. Iscrtavanje je značajka računalom podržanog sustava za crtanje koja

uvelike djeluje na povećanje produktivnosti crtača. Na slici 10.7. prikazan je crtež koji sadrži dijelove koji su iscrtani (šrafirani).



Slika 10.7. Crtež s dijelovima koji su iscrtani (šrafirani)

10.2.7. Funkcije za opisivanje crteža

Dimenzioniranje (Dimensioning). Spособnost dimenzioniranja smatra se najatraktivnijom značajkom računalom podržanog sustava za crtanje, koja se ne može usporediti s praksom ručnog crtanja. Za pridruživanje horizontalne ili okomite dimenzije potrebno je specificirati dva grafička elementa (uobičajeno

točke) i željeni položaj mjernice (kotne ili dimenzijske crte). U ovom je slučaju vrijednost dimenzije (tj. razmak između grafičkih elemenata) izravno izmjerena iz crteža. Završeci (strelice), mjernice, kotni brojevi te pomoćne mjerne crte crtaju se uz pomoć sustava za crtanje. Automatski se mjeri uspravni razmak ako su grafički elementi smješteni na uspravnoj crti, ili se mjeri vodoravni razmak ako su na vodoravnoj crti. Ako nisu niti na uspravnoj niti na vodoravnoj crti, sustav će tražiti da se opredijelite za vodoravni, uspravni ili stvarni razmak.

Radijalna ili dijametralna dimenzija može se dodijeliti izborom kružnice ili kružnog luka za dimenzioniranje i specificiranjem željenog smještaja vrijednosti dimenzije na crtežu. Slično, kutna dimenzija dodjeljuje se izborom dviju crta i položaja vrijednosti dimenzije. Unutarnji ili vanjski kut implicitno je određen uz pomoć naredbe izbora dviju crta. Kako se svaki sustav koristi različito dogovorenim naredbama, potrebno je proučiti upute specifičnog sustava. Slika 10.6. prikazuje dimenzionirani crtež.

Tekst. Da bi se ubacila bilješka ili natpis na crtež, moraju biti specificirani položaj i orijentacija teksta skupa s dimenzijom (veličinom) i tipom slova³ u tekstu. Ubacivanje teksta u AutoCAD Release 14 s MTEXT provodi se na sljedeći način:

Command: **text**

Justify/Style/<start point>: 2,1

Height <0.20>: 0.25

Rotation angle<0>:

Text: **MTEXT**

³ fontom

11. Pojednostavnjenja i simboli

Simplifications and Symbols

11.1. Pojednostavnjenja

U pojedinim poglavljima (npr. poglavlju 6.) ovog udžbenika prikazana su neka od pojednostavnjenja koja su rezultat konvencija ili su pak propisana normama. Najčešći razlog za pojednostavnjenja jest složenost pogleda ili presjeka. Npr. razni strojni dijelovi kao što su parovi zupčanika, lančani prijenos, opruge itd. u pogledu ili presjeku složeni su za crtanje pa ih se pojednostavnjuje i na taj način olakšava njihov prikaz u tehničkim crtežima. U nastavku će se obuhvatiti samo neka pojednostavnjenja koja su propisana normama, a odnose se na strojne dijelove koji su relativno složeni za crtanje.

Tablica 11.1. Pojednostavnjeni prikazi tlačnih opruga (DIN ISO 2162)


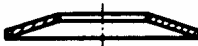
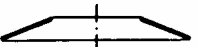


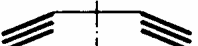
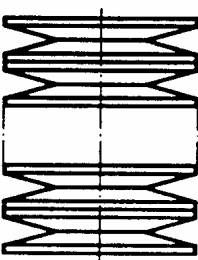
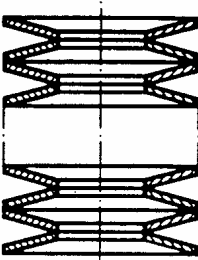
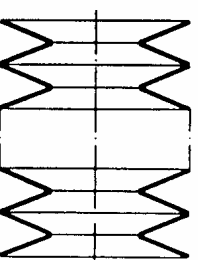
Naziv	Prikaz		
	Pogled	Presjek	Simbol
Cilindrična zavojna tlačna opruga od žice okruglog presjeka			
Cilindrična zavojna tlačna opruga od žice kvadratnog presjeka			
Konična zavojna tlačna opruga od žice okruglog presjeka			
Konična zavojna tlačna opruga od trake pravokutnog presjeka			

U tablici 11.1. dan je pregled najčešćih izvedbi tlačnih zavojnih opruga u pogledu, presjeku i pojednostavnjeni prikaz (simbol) prema normi DIN ISO 2162.

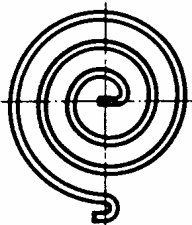
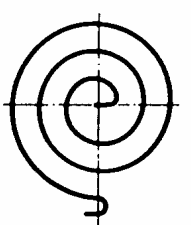
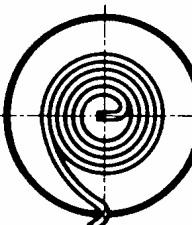
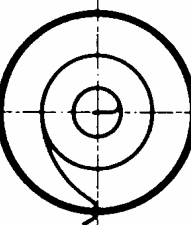
Prema istoj normi u tablici 11.2. dan je pregled najčešćih kombinacija tanjurastih opruga u pogledu, presjeku i pojednostavnjenom prikazu.

Spiralne opruge (slobodne ili upete u kućištu) crtaju se u pogledu ili pojednostavnjeno prema tablici 11.3. (prema DIN ISO 2162).

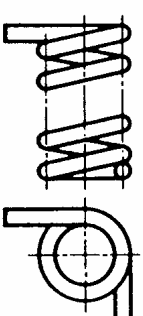
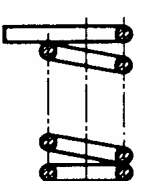

Tablica 11.2. Pojednostavnjeni prikazi tanjurastih opruga (DIN ISO 2162)

Naziv	Prikaz		
	Pogled	Presjek	Simbol
Tanjurasta opruga			
Paket tanjurastih opruga (jednosmjerno složenih)			
Paket tanjurastih opruga (naizmjenično složenih)			

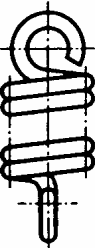


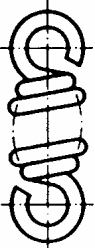
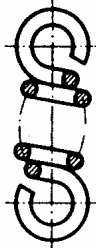

Tablica 11.3. Pojednostavnjeni prikazi spiralnih opruga (DIN ISO 2162)

Naziv	Prikaz	
	Pogled	Simbol
Spiralna opruga		
Spiralna opruga (uvijena i upeta u kućište)		

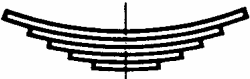





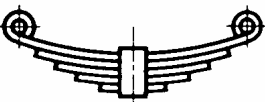
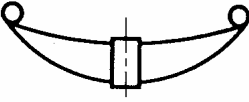
Tablica 11.4. Pojednostavnjeni prikazi zavojne savojne opruge (DIN ISO 2162)

Naziv	Prikaz		
	Pogled	Presjek	Simbol
Cilindrična zavojna savojna opruga od žice okruglog presjeka (desnovojna)			

Tablica 11.5. Pojednostavnjeni prikazi zavojne vlačne opruge (DIN ISO 2162)

Naziv	Prikaz		
	Pogled	Presjek	Simbol
Cilindrična zavojna opruga od žice okruglog presjeka			
Bačvasta zavojna opruga od žice okruglog presjeka			

Tablica 11.6. Pojednostavnjeni prikazi lisnate opruge (DIN ISO 2162)

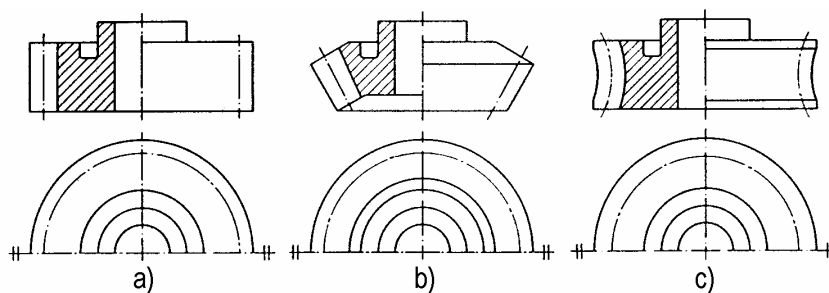
Naziv	Prikaz	
	Pogled	Simbol
Polueliptična lisnata opruga (složena, bez oka)		
Polueliptična lisnata opruga (složena, s okom)		
Polueliptična lisnata opruga (složena, bez oka, sa spojnicom)		
Polueliptična lisnata opruga (složena, s okom, sa spojnicom)		

Pojednostavnjeni prikaz zavojne savojne opruge dan je u tablici 11.4. Cilindrične i bačvaste zavojne vlačne opruge izrađene od žice okruglog presjeka prikazuju se pojednostavnjeno prema tablici 11.5.

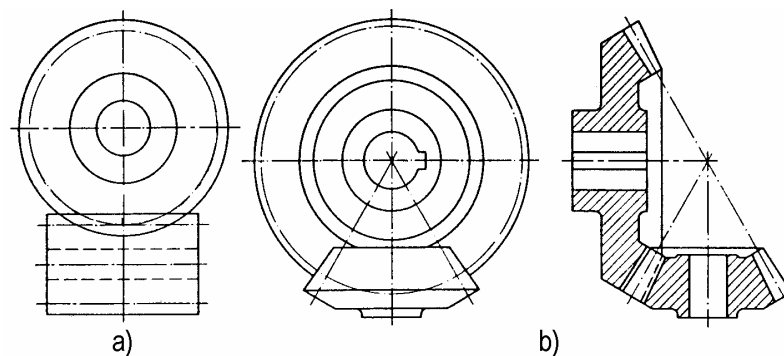
Složene lisnate opruge (poznate i kao gibnjevi) različitih konstrukcijskih izvedbi dane su u pogledu i pojednostavnjenom prikazu u tablici 11.6.

Druga skupina strojnih dijelova vrlo je složena za crtanje u pogledu i presjeku, pa je iz tih razloga normom DIN ISO 2203 predviđeno pojednostavnjenje koje bitno olakšava prikazivanje zupčaničkih parova (slika 11.1.) u tehničkim crtežima.

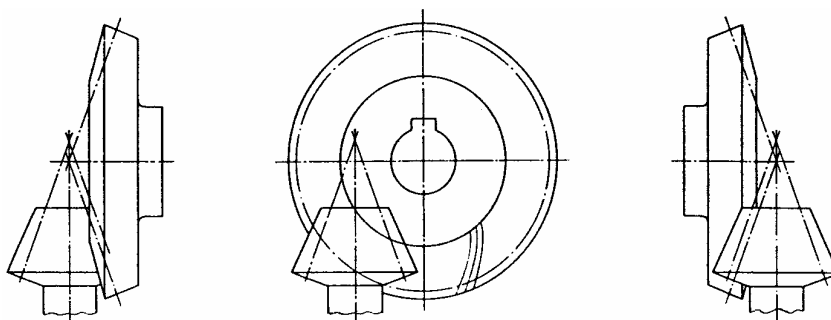
Neki primjeri ovih pojednostavnjenja dani su na slikama od 11.2. do 11.12.



Slika 11.1. Čelnik (a), stožnik (b) i pužno kolo (c) u pogledu i presjeku



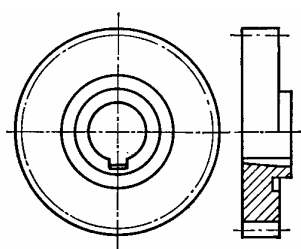
Slika 11.2. Pojednostavnjen prikaz pužnog para (a) i para stožnika (b) u pogledu i presjeku



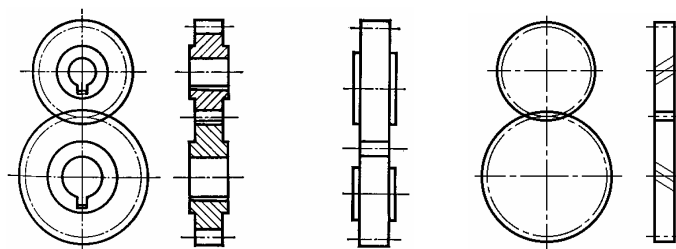
Slika 11.3. Pojednostavnjen prikaz različitih izvedbi parova stožnika



Slika 11.4. Pojednostavnjen prikaz različitih izvedbi zubi zupčanika

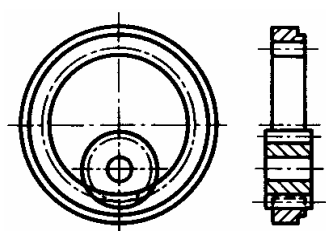


Slika 11.5. Čelnik s ravnim zubima u pogledu i presjeku

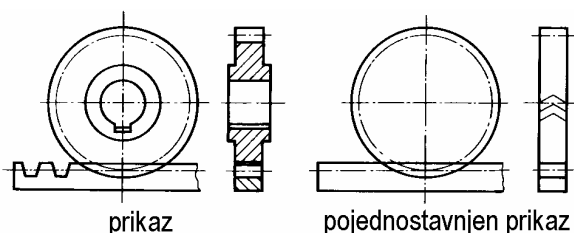


Slika 11.6. Par čelnika s pravim i kosim zubima u pogledu i presjeku te pojednostavnjenom prikazu

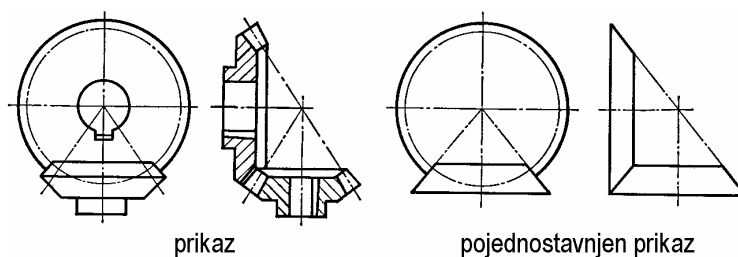
U svim pojednostavnjenim prikazima zupčanih parova uočava se da se neprekidnom širokom crtom (crta 01.2, tablica 7.10.) crtaju tjemene kružnice (promjera d_a), a dugom crtkano-točkastom uskom crtom (crta 04.1.3, tablica 7.10.) crtaju se diobene (ili kinematične) kružnice (promjera d ili d_w). Podnožne kružnice zupčanih parova prema DIN ISO 2203 ne crtaju se u pojednostavnjenim prikazima. Također se ne označavaju ni pravi zubi kod zupčanika u pojednostavnjenim prikazima.



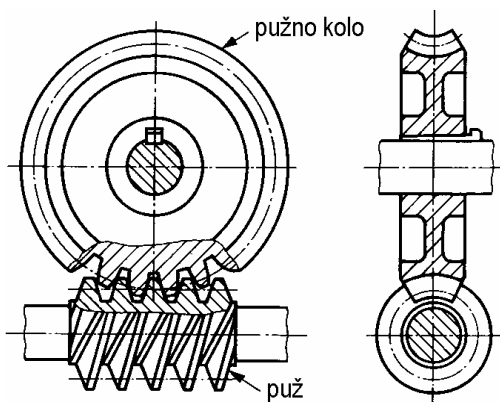
Slika 11.7. Unutarnje ozubljenje čelnika s ravnim zubima u pogledu i presjeku



Slika 11.8. Čelnik i ozubnica sa strelastim zubima u pogledu i presjeku te u pojednostavnjenom prikazu



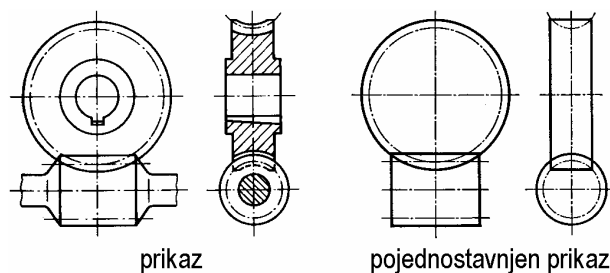
Slika 11.9. Par stožnika u pogledu i presjeku te njihov pojednostavnjen prikaz



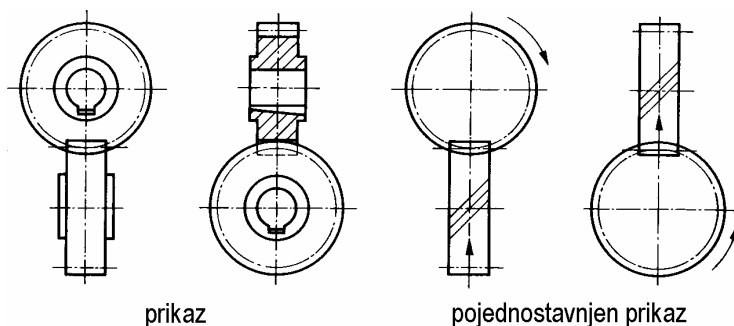
Slika 11.10. Pužni par (puž i pužno kolo) u pogledu i presjeku

Pužni par (puž i pužno kolo) vrlo je složen za crtanje u pogledu i presjeku (slika 11.10.), pa je prema normi DIN ISO 2203 također predviđen pojednostavnjen prikaz za različite međusobne položaje puža i pužnog kola (slike 11.11. i 11.12.).

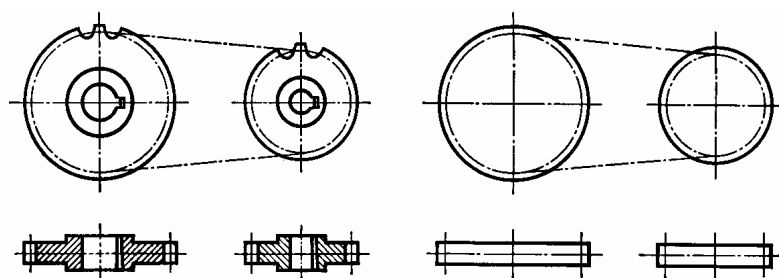
Lančani prijenos također se prikazuje pojednostavnjeno prema normi DIN ISO 2203 kao što to prikazuje slika 11.13.



Slika 11.11. Pužni par (puž i pužno kolo) u pogledu i presjeku te pojednostavnjenom prikazu



Slika 11.12. Pužni par (puž i pužno kolo) u pogledu i presjeku te pojednostavnjenom prikazu



Slika 11.13. Lančani prijenos u pogledu i presjeku (lijevo) te pojednostavnjenom prikazu (desno)

11.2. Simboli

Simboli u tehničkom crtanju upotrebljavaju se sukladno normama ili konvencijama za pojednostavnjeno prikazivanje jednostavnih ili složenih strojnih dijelova, sustava, konstrukcija, cijevnih vodova, pneumatičnih i hidrauličnih instalacija, elektroničkih sklopova i električnih instalacija, spojeva i slično. Tako npr. norma

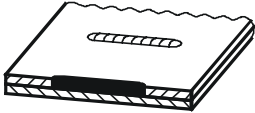

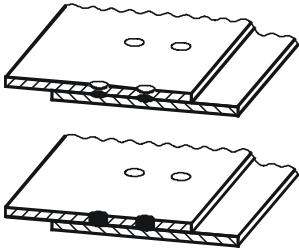

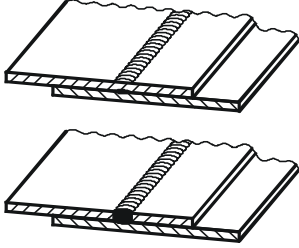

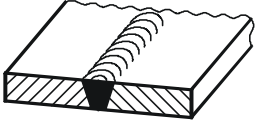

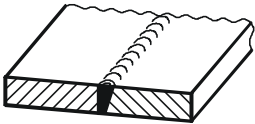

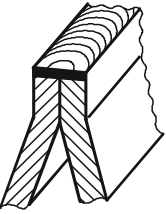

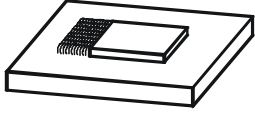

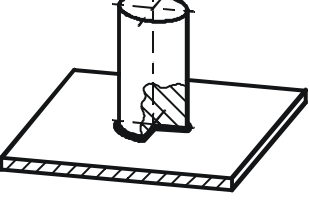

- ISO 3952/2 obuhvaća simbole elemenata za prijenos snage i gibanja,
- DIN 2429 obuhvaća simbole u procesnoj industriji i cjevovodnim sustavima,
- DIN 2481 obuhvaća simbole za posude, aparate, toplinske naprave i strojeve,
- DIN 40900 obuhvaća simbole elektrotehničkih uređaja,
- DIN 40719 obuhvaća simbole za instalacijske crteže u elektrotehnici,
- DIN ISO 5261 obuhvaća simbole u metalnim konstrukcijama,

U ovom udžbeniku detaljnije će se obraditi samo neki simboli za označavanje npr. zavarenih spojeva prema normi ISO 2553 te simboli za označavanje u pneumatičnim i hidrauličnim instalacijama prema ISO 1219.

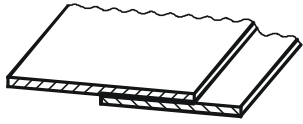

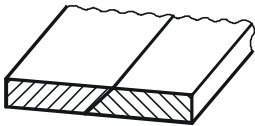

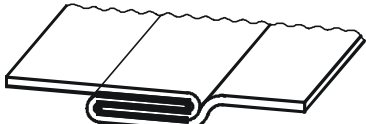

Tablica 11.7. Osnovni simboli za zavarene, tvrdo i meko lemljene spojeve prema ISO 2553

Redni broj	Opis	Skica	Simbol
1	Sučelni zavar između podignutih rubova limova ¹ ; prirubni zavar /USA/ (povišeni rubovi potpuno provareni)		
2	Sučelni zavar ravni		
3	Jednostrani V sučelni zavar V - zavar		
4	Jednostrani zakošen sučelni zavar Polovičan V zavar		
5	Jednostrani V sučelni zavar sa širokim korijenim licem Y - zavar		
6	Jednostrani zakošen sučelni zavar sa širokim korijenim licem Polovičan Y - zavar		
7	Jednostrani U sučelni zavar (poredne ili skošene strane) U - zavar		
8	Jednostrani J sučelni zavar Polovičan U - zavar		
9	Dodatno zavaren; dodatni ili dodatno zavaren /USA/ Korijenski zavar		
10	Kutni zavar		

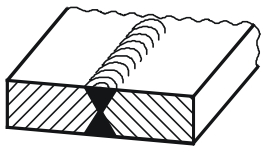

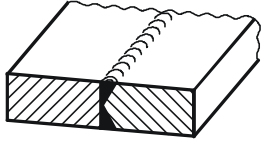

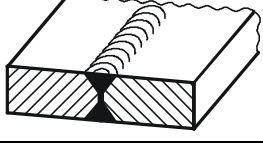

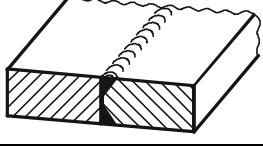



Tablica 11.7. Osnovni simboli za zavarene, tvrdo i meko lemljene spojeve prema ISO 2553
(nastavak)

Redni broj	Opis	Skica	Simbol
11	Utični zavar Koritasti zavar		
12	Točkasti zavar		
13	Šavni zavar		
14	Bočno zavaren jednostrani V - sučelni zavar Bočni V – zavar		
15	Bočno zavaren jednostrani zakošen sučelni zavar Bočni polovičan V - zavar		
16	Rubni zavar		
17	Površinski zavar, navarivanje površine		
18	Površinski spoj		

Tablica 11.7. Osnovni simboli za zavarene, tvrdo i meko lemljene spojeve prema ISO 2553
(nastavak)

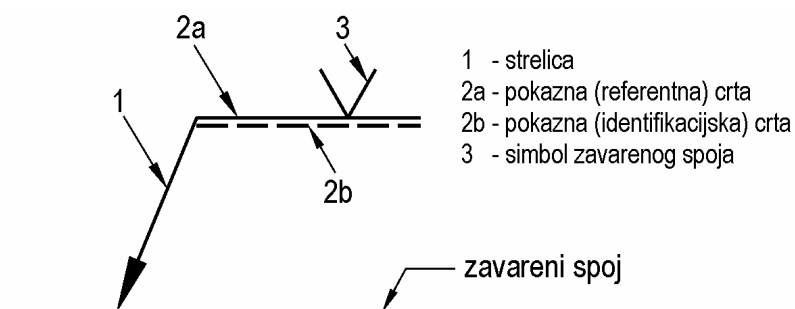
Redni broj	Opis	Skica	Simbol
18a	Površinski spoj		
19	Skošeni zavar		
20	Pertlani (savinuti) zavar		
¹ Sučelni zavar između podignutih rubova limova (Simbol 1); nepotpuno provaren prikazuje se kao kvadratni sučelni zavar (I - zavar) (Simbol 2) s prikazanom dubinom provara s (vidi tabelu 5)			

Tablica 11.8. Složeni simboli za simetrične zavare (primjeri) prema ISO 2553

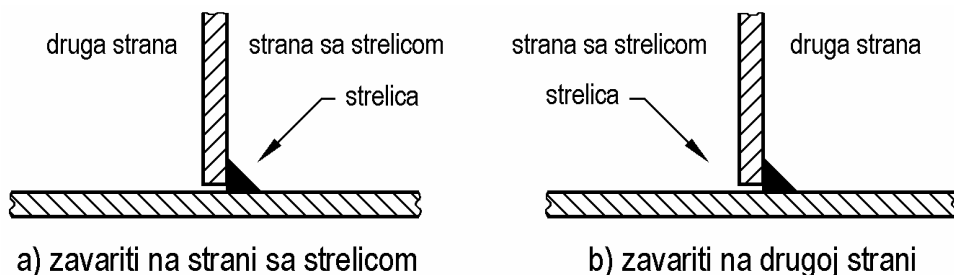
Redni broj	Opis	Skica	Simbol
1	Dvostruki V - sučelni zavar X - zavar		
2	Dvostruki sučelni zavar		
3	Dvostruki V - sučelni zavar s korijenom		
4	Dvostruki sučelni zavar s korijenom		
5	Dvostruki U - sučelni zavar s korijenom		

Tablica 11.9. Primjeri upotrebe dodatnih simbola prema ISO 2553

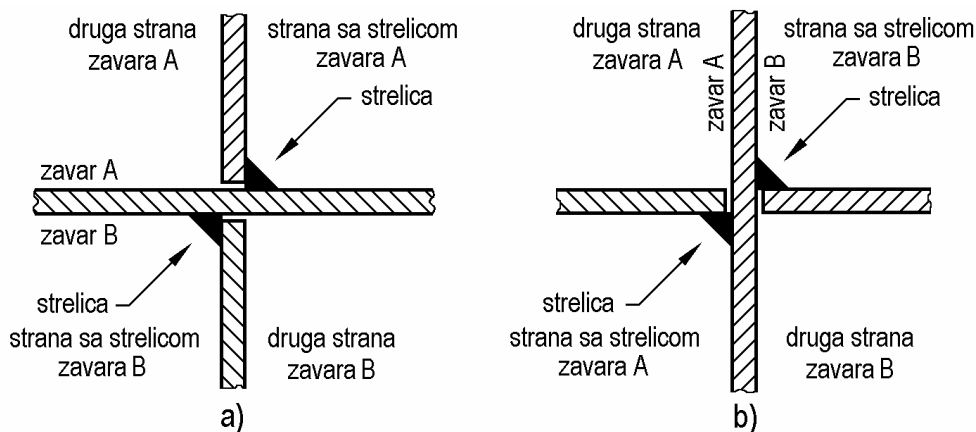
Redni broj	Opis	Skica	Simbol
1	Ravni jednostruki V - sučelni zavar		
2	Konveksni dvostruki V - zavar		
3	Konkavni kutni zavar		
4	Ravni jednostruki V - sučelni zavar s ravnim korijenim zavarom		
5	Jednostruki V - sučelni zavar sa širokim korijenim licem i korijenim zavarom		
6	Ravno obrađeni jednostruki V - sučelni zavar		
7	Kutni zavar sa zaglađenom površinom		
¹⁾ Simbol prema ISO 1302, umjesto upotrijebljenog simbola može se upotrijebiti osnovni simbol			



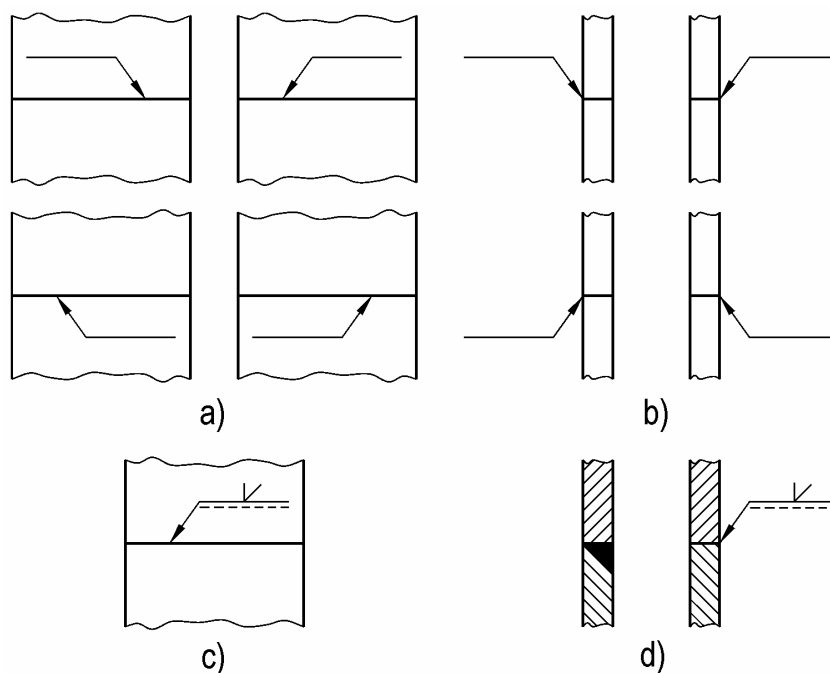
Slika 11.14. Način označavanja zavara na tehničkim crtežima



Slika 11.15. T-oblik zavarenog spoja s jednim kutnim zavarom i način označavanja

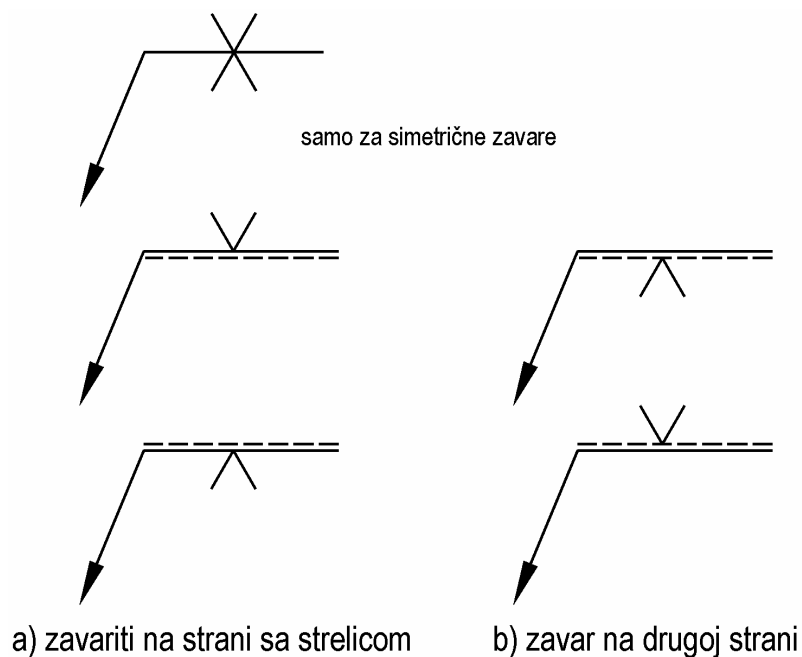


Slika 11.16. Križni oblik zavarenog spoja s dva kutna zavarom i način označavanja

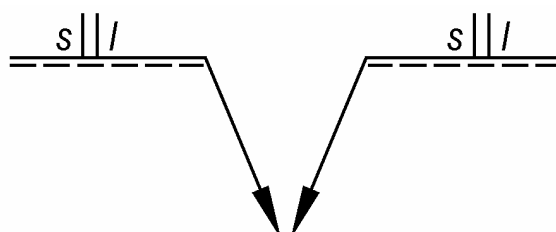


Slika 11.17. Položaj strelice kod sučelnih zavarova

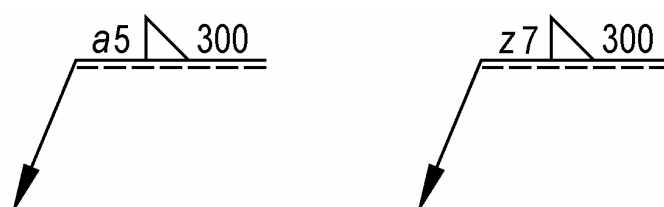
Na slici 11.19. prikazano je osnovno načelo definiranja izmjera zavar. Glavna izmjera koja se odnosi na poprečni presjek zavaru (s) upisuje se s lijeve strane simbola zavaru, a uzdužna izmjera (l) upisuje se s desne strane simbola zavaru.



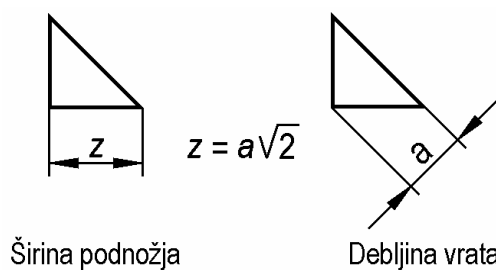
Slika 11.18. Položaj simbola zavora u odnosu na referentnu crtu



Slika 11.19. Definiranje izmjere zavora (načelo)



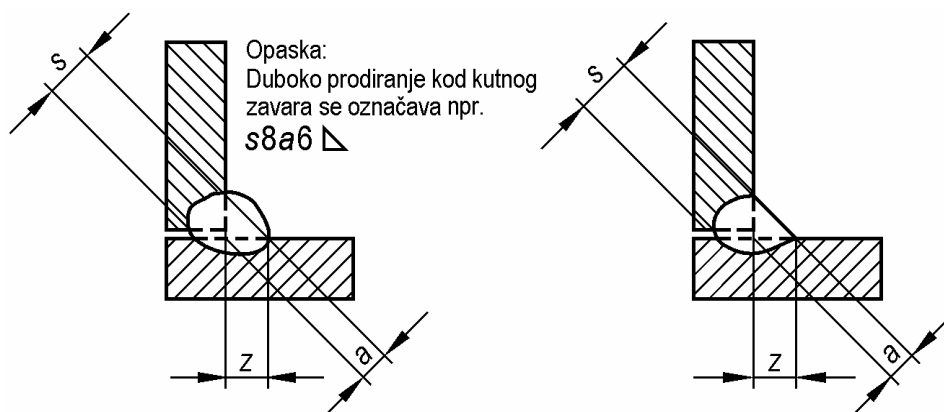
Slika 11.20. Način označavanja izmjera kod kutnog zavora



Slika 11.21. Definiranje izmjera kutnog zavora

U normi ISO 2553 detaljno su opisane sve mogućnosti označavanja simbolima zavarenih, tvrdo i meko lemljenih spojeva. Također su dane i definicije izmjera

različitih zavora te njihovo simbolično upisivanje u tehničke crteže.









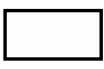
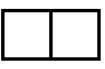



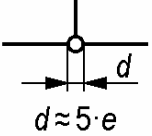






Slika 11.22. Način definiranja izmjera dubokog provara kod kutnog zavora

Normom ISO 1219 definirani su osnovni i funkcijski simboli hidrauličnih i pneumatičnih sustava. Iz funkcijskih simbola prepoznatljiva je funkcija uređaja ili instalacije. Oni se sastoje od jednog osnovnog simbola ili više njih, odnosno od jednog funkcijskog simbola ili njih više za pretvaranje energije, upravljačke ventile, prijenos i održavanje energije (kondiciranje), aktiviranje i dopunske uređaje. U tablici 11.10. dani su svi simboli koji se odnose na gore spomenuto, a imaju primjenu u hidrauličnim i pneumatičnim sustavima ili instalacijama.

Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
1	Osnovni simboli		
1.1	Crta		
1.1.1	puna		
1.1.2	crtkana – duge crtice	- vodovi	
1.1.3	crtkana – kratke crtice		
1.1.4	dvostruka puna	- mehanička veza (vratilo, poluga, klipnjača)	
1.1.5	crtka-točka-crtka (uska)	- više različitih uređaja uokvirenih u jednu jedinstvenu ugradbenu ili funkcijsku cjelinu	

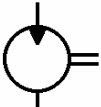
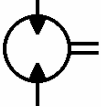


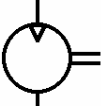
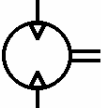


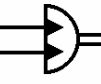
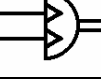
Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
1.2	Krug, polukrug		
1.2.1		- u reguliranju jedinica za pretvaranje energije (pumpa, kompresor, motor)	
1.2.2		- mjerni uređaj	
1.2.3		- nepovratni ventili, okretni spoj itd.	
1.2.4		- mehanički zglobovi, kotačići itd.	
1.2.5		- zakretni motor	
1.3	Kvadrat, pravokutnik	- u pravilu upravljački ventili osim nepovratnih ventila	    
1.4	Romb, kosi kvadrat	- uređaji za održavanje (filtrar, odvajač kondenzata, zaučivač, izmjenjivači topline itd.)	
1.5	Različiti simboli		
1.5.1		- spoj vodova	 $d \approx 5 \cdot e$
1.5.2		- opruga	
1.5.3		- prigušenje:	
1.5.3.1		- ovisno o viskozitetu	
1.5.3.2		- neovisno o viskozitetu	 
2	Funkcijski simboli		
2.1	Trokut	- smjer strujanja i vrsta fluida	
2.1.1	- ispunjen	- hidraulično strujanje	
2.1.2	- neispunjen	- pneumatično strujanje ili ispuštanje u atmosferu	

Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
2.2	Strelica		
2.2.1		- smjer	
2.2.2		- smjer vrtnje	
2.2.3		- pravac i smjer toka fluida kroz ventile Oba prikazana načina mogu se uporabiti za regulacijske uređaje bez razlike u značenju (i to s poprečnom crtom na kraju strelice ili bez nje). U općem slučaju crta koja stoji uspravno na vrh strelice označava da su usmjerena gibanja unutarnjeg toka uvijek povezana s odgovarajućim vanjskim tokom.	
2.3	Kosa strelica	- mogućnost podešavanja	
3	Pumpe i kompresori	- za pretvaranje mehaničke energije u hidrauličnu ili pneumatičnu	
3.1	Hidraulična pumpa stalnog radnog obujma		
3.1.1	- s jednim smjerom strujanja		
3.1.2	- s dva smjera strujanja		
3.2	Hidraulična pumpa podesivog radnog obujma		
3.2.1	- s jednim smjerom strujanja	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3	
3.2.2	- s dva smjera strujanja	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3	
3.3	Kompresor stalnog radnog obujma (samo jednog smjera strujanja)		

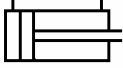
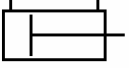

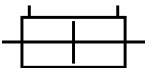
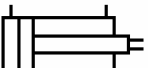
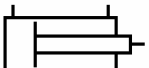


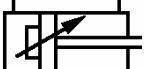
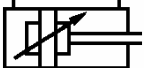
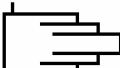

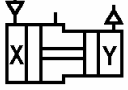
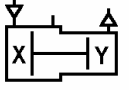
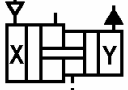
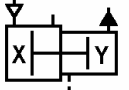
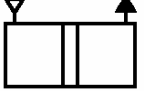
Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
4	Motori	- za pretvaranje hidraulične ili pneumatične energije u mehaničku s rotacijskim gibanjem	
4.1	Hidraulični motor stalnog radnog obujma		
4.1.1	- s jednim smjerom strujanja		
4.1.2	- s dva smjera strujanja		
4.2	Hidraulični motor podesivog radnog obujma		
4.2.1	- s jednim smjerom strujanja	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3	
4.2.2	- s dva smjera strujanja	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3	
4.3	Pneumatični motori stalnog radnog obujma		
4.3.1	- s jednim smjerom strujanja		
4.3.2	- s dva smjera strujanja		
4.4	Pneumatični motori podesivog radnog obujma		
4.4.1	- s jednim smjerom strujanja	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3	
4.4.2	- s dva smjera strujanja	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3	
4.5	Zakretni motor		
4.5.1	- hidraulični		
4.5.2	- pneumatični		


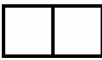
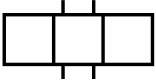








Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol	
5	Pumpa-motor, jedinica	- jedinica s dvije objedinjene funkcije (ili kao pumpa ili kao motor)		
5.1	Pumpa-motor, jedinica stalnog radnog obujma			
5.1.1	- s promjenjivim smjerom strujanja	- radi kao pumpa ili kao motor, u ovisnosti o smjeru strujanja		
5.1.2	- s jednim smjerom strujanja	- radi kao pumpa i kao motor s jednim smjerom strujanja		
5.1.3	- s dva smjera strujanja	- radi kao pumpa i kao motor s dva smjera strujanja		
5.2	Pumpa-motor, jedinica podesivog radnog obujma			
5.2.1	- s promjenjivim smjerom strujanja	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3		
5.2.2	- s jednim smjerom strujanja	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3		
5.2.3	- s dva smjera strujanja	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3		
6	Hidrostatski prijenosnici kao jedinice	- promjena momenta vrtnje pumpi i/ili motora promjenjivog radnog obujma - daljinski hidrostatski prijenosnik		
7	Cilindri	- uređaj za pretvaranje hidraulične ili pneumatične energije u mehaničku s pravocrtnim gibanjem		
7.1	Cilindar jednostranog djelovanja	- cilindar u kojemu tlak fluida djeluje na klip samo s jedne strane (hod naprijed)	Detaljan	Jednostavan
7.1.1	- povratno gibanje vanjskom silom	- opći simbol, kada vanjska sila nije pobliže označena		
7.1.2	- povratno gibanje oprugom	- simbol je kombiniran s općim simbolom 1.5.2		

Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol	
7.2	Cilindar dvostranog djelovanja	- cilindar u kojemu tlak fluida djeluje na klip s obje strane (hod naprijed i hod nazad)	Detaljan	Jednostavan
7.2.1	- s klipnjačom na jednoj strani			
7.2.2	- s klipnjačom na obje strane			
7.3	Diferencijalni cilindar	- cilindar dvostranog djelovanja, čije gibanje ovisi o radnim površinama klipa s jedne i druge strane		
7.4	Cilindar s prigušenjem			
7.4.1	- s nepodesivim prigušenjem s jedne strane	- cilindar dvostranog djelovanja s nepodesivim prigušenjem u jednom smjeru		
7.4.2	- s nepodesivim prigušenjem s obje strane	- cilindar dvostranog djelovanja s nepodesivim prigušenjem u oba smjera		
7.4.3	- s podesivim prigušenjem s jedne strane	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3		
7.4.4	- s podesivim prigušenjem s obje strane	- simbol je kombiniran sa simbolom 2.3		
7.5	Teleskopski cilindar			
7.5.1	- jednostranog djelovanja	- tlak fluida djeluje samo s jedne strane		
7.5.2	- dvostranog djelovanja	- tlak fluida djeluje naizmjenično s obje strane (hod naprijed i hod nazad)		
8	Pojačivač tlaka	- uređaj koji pojačava tlak fluida X u viši tlak Y	Detaljan	Jednostavan
8.1.1	- za jednu vrstu fluida	- npr. pneumatični tlak X u viši pneumatični tlak Y		
8.1.2	- za dvije vrste fluida	- npr. pneumatični tlak X u viši hidraulični tlak Y		
9	Hidraulično-pneumatični izmjenjivač	- uređaj za pretvaranje pneumatičnog tlaka u hidraulični tlak ili obratno		
10	Upravljački ventili			
10.1	Način prikazivanja ventila (osim 10.3 i 10.6)	- ovi ventili se prikazuju pomoću jednog ili više kvadrata i strelica (vidi 1.3, 2.2.1, 2.2.3 i 2.3)		

Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
		- hidraulični i pneumatični ventili uobičajeno se prikazuju u shemama za upravljanje u isključenom položaju	
10.1.1	- jedan kvadrat	- prikazuje jedan uređaj za upravljanje tokom ili tlakom, koji ima neograničen broj mogućih položaja između dva krajnja položaja, tako da je izabrani tlak i/ili tok osiguran u odnosu na radne uvjete toka strujanja	
10.1.2	- dva ili više kvadrata	- razvodnik ima onoliko različitih položaja koliko ima kvadrata	
10.1.3	- jednostavan simbol za ventil u slučaju ponavljanja	- priključni otvori prikazuju se vezano za kvadrat na ventilu u uključenom položaju - ostali položaji se dobiju premještanjem kvadrata do odgovarajućih priključnih otvora - broj se odnosi na upute u shemi za upravljanje u kojoj je simbol detaljno prikazan	 
10.2	Razvodnici	- uređaji predviđeni za otvaranje (potpuno ili djelomično) ili zatvaranje jednog protočnog otvora ili više njih (prikazanih u različitim kvadratima)	
10.2.1	Tok	- kvadrat sadrži unutarnje tokove strujanja fluida	
10.2.1.1	- jedan tok		
10.2.1.2	- dva priključna otvora zatvorena		
10.2.1.3	- dva toka		 
10.2.1.4	- dva toka i jedan priključni otvor zatvoren		
10.2.1.5	- dva toka međusobno spojena		
10.2.1.6	- jedan optočni tok, dva priključna otvora zatvorena		
10.2.2	Razvodnik bez prigušenja	- razvodnik s više različitih položaja uključivanja, svaki prikazan posebnim kvadratom	

Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
10.2.2.1		- osnovni simbol za dvopoložajni razvodni ventil	
10.2.2.2		- osnovni simbol za tropoložajni razvodni ventil	
10.2.2.3		- neobvezatno predstavljanje prijelaza u neki srednji položaj između dva različita položaja s kvadratom izdvojenim isprekidanim crtama - osnovni simbol za razvodnike s dva određena položaja i prijelaznim međupoložajem	
10.2.2.4	Označavanje - prvi broj u oznaci pokazuje broj priključnih otvora (osim priključnih otvora upravljačkih vodova), a drugi broj je broj različitih položaja razvodnika		
10.2.2.5	Razvodnik 2/2	- razvodnik s dva priključna otvora i dva određena položaja	
10.2.2.5.1	- s ručnim aktiviranjem		
10.2.2.5.2	- aktiviranje tlakom savlađivanjem povratne opruge		
10.2.2.6	Razvodnik 3/2	- razvodnik s tri priključna otvora i dva određena položaja	
10.2.2.6.1	- aktiviranjem tlakom u oba smjera		
10.2.2.6.2	- aktiviranje elektromagnetom savlađivanjem povratne opruge	- prikazan je jedan prijelazni položaj (vidi 10.2.2.3)	
10.2.2.7	Razvodnik 4/2	- razvodnik s četiri priključna otvora i dva određena položaja	
10.2.2.7.1	- aktiviranje tlakom u oba smjera pomoću upravljačkog razvodnika s elektromagnetom i povratnom oprugom		

Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
10.2.2.8 10.2.2.8.1	Razvodnik 5/2 - aktiviranje tlakom u oba smjera	- razvodnik s pet priključnih otvora i dva određena položaja	
10.2.3 10.2.3.1 10.2.3.2 10.2.3.3 10.2.3.4 10.2.3.5	Razvodnik s prigušenjem - s dva priključna otvora (jedan prigušni rub) - s tri priključna otvora (dva prigušna ruba) - s četiri priključna otvora (četiri prigušna ruba)	- ventil s dva krajnja položaja i neograničenim brojem međupoložaja s različitim stupnjevima prigušenja - svi simboli imaju crte paralelne s okvirom kvadrata i pravokutnika - za ventile s mehaničkom povratnom vezom (vidi 12.3) - prikaz krajnjih položaja - prikaz krajnjih položaja i jednog srednjeg (nultog) položaja - npr. ventil mehanički aktiviran ticalom i povratnom oprugom - npr. razvodnik aktiviran tlakom savlađivanjem povratne opruge - npr. ventil mehanički aktiviran ticalom i povratnom oprugom	
10.2.4 10.2.4.1 10.2.4.2 10.2.4.3	Elektrohidraulični servoventil Elektropneumatični servoventil - s jednim stupnjem - s dva stupnja s mehaničkom povratnom vezom - s dva stupnja s hidrauličnom povratnom vezom	- ventil koji prima električni ulazni signal i odaje analogni izlazni signal fluida - izravnog djelovanja - neizravnog djelovanja - upravljanje neizravnog djelovanja	
10.3	Nepovratni ventil, naizmjenični ventil, brzoispusni ventil	- ventil koji dopušta tok fluida samo u jednom smjeru	
10.3.1 10.3.1.1	Nepovratni ventil - slobodan	- otvara se samo kod ulaznog tlaka višeg od izlaznog	

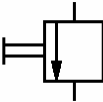
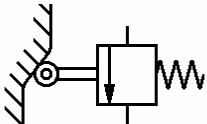
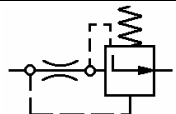
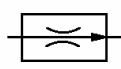
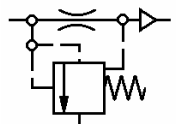
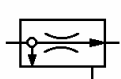
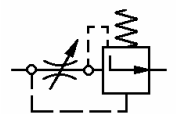
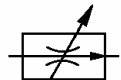
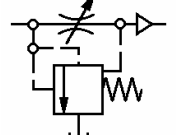
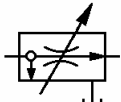
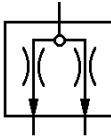


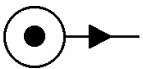
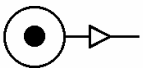


Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
10.3.1.2	- s oprugom	- otvara se samo kod ulaznog tlaka višeg, ovisno o sili u opruzi	
10.3.1.3	- s upravljačem	- kao pod 10.3.1.1, ali se upravljanjem sprječava:	
10.3.1.3.1		- zatvaranje ventila	
10.3.1.3.2		- otvaranje ventila	
10.3.1.4	- s prigušenjem	- ventil dopušta slobodan tok u jednom, a prigušenje u drugom smjeru	
10.3.2	Naizmjenični ventil	- na izlaznom priključku doći će do toka ako se na jednom ili na oba priključna otvora dovodi fluid	
10.3.3	Brzoispusni ventil	- kada je ulazni otvor bez tlaka, tada je izlazni povezan s atmosferom	
10.4	Ventil za tlak	- ventil koji osigurava upravljanje tlakom prikazuje se kvadratom (vidi 10.1.1)	
10.4.1	Ventil za tlak	- opći simbol	
10.4.1.1	- normalno zatvoren, s jednim prigušenjem		
10.4.1.2	- normalno otvoren, s jednim prigušenjem		
10.4.1.3	- normalno zatvoren, s dva prigušenja		
10.4.2	Ventil za ograničenje tlaka	- ulazni tlak ograničava se protusilom (npr. oprugom) uz povezivanje izlaznog priključnog otvora sa spremnikom ili atmosferom	
10.4.2.1	- s oprugom	- tlak na ulaznom otvoru je ograničen kao pod 10.4.2.1 ili odgovarajućim s daljinskim upravljanjem	
10.4.2.2	- s daljinskim upravljanjem		






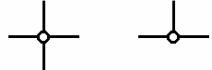
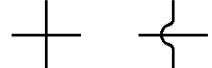





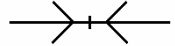
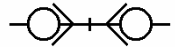


Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
10.4.3	Proporcionalni ventil za tlak	- ulazni tlak ograničava se na vrijednost proporcionalnu upravljačkom tlaku (vidi 12.2.4.1.3)	
10.4.4	Redoslijedni ventil	- ako ulazni tlak postaje veći od sile opruge, tada se ventil otvara i oslobađa tok prema izlaznom priključnom otvoru	
10.4.5	Regulator tlaka (ili reduktor tlaka)	- omogućava da se pri promjenljivom ulaznom tlaku dobije stalan izlazni tlak, pod uvjetom da je ulazni tlak uvijek viši od potrebnog izlaznog tlaka	
10.4.5.1	- bez otvora za rasterećenje		
10.4.5.2	- bez otvora za rasterećenje s daljinskim upravljanjem	- kao pod 10.4.5.1, uz izlazni tlak ovisan o tlaku upravljanja	
10.4.5.3	- s otvorom za rasterećenje		
10.4.5.4	- s otvorom za rasterećenje s daljinskim upravljanjem	- kao pod 10.4.5.3, uz izlazni tlak ovisan o tlaku upravljanja	
10.4.6	Ventil za reguliranje razlike tlaka	- održava stalnu razliku ulaznog i izlaznog tlaka	
10.4.7	Ventil za reguliranje omjera tlakova	- održava stalni omjer ulaznog i izlaznog tlaka (vidi 12.2.4.1.3)	
10.5	Protočni ventil	- ventil koji osigurava upravljanje tokom (izuzev položaja prikazanih pod 10.5.3 i metode prikazane pod 10.4)	
10.5.1	Prigušni ventil	- pojednostavnjeni simbol (ne prikazuje način uključivanja i/ili stanje ventila)	



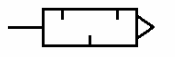
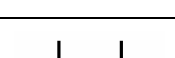




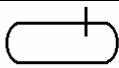

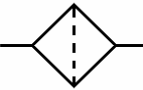
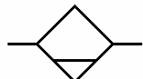
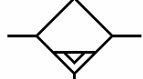
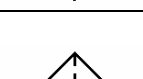




Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol	
10.5.1.1	- s ručnim aktivnostima	- detaljan simbol (prikazuje način aktiviranja i/ili stanje ventila)		
10.5.1.2	- s mehaničkim aktiviranjem i povratnom oprugom			
10.5.2	Ventil za reguliranje toka	- promjene u ulaznom tlaku ne utječu na vrijednost toka	Detaljan	Jednostavan
10.5.2.1	- sa stalnim tokom			
10.5.2.2	- sa stalnim tokom i preljevnim otvorom prema spremniku	- kao pod 10.5.2.1, ali s odvodom viška toka		
10.5.2.3	- s podesivim izlaznim tokom			
10.5.2.4	- s promjenjivim izlaznim tokom i otvorom za rasterećenje prema spremniku	- kao pod 10.5.2.3, ali s odvodom viška toka		
10.5.3	Raspodjeljivač toka	- tok se dijeli na dva dijela koji ostaju u stalnom omjeru neovisno o promjeni tlaka		
10.6	Slavina	- pojednostavnjen simbol		
11	Prenošenje i održavanje energije			
11.1	Izvori energije			
11.1.1	Izvor tlaka	- pojednostavnjeni opći simbol		
11.1.1.1	- izvor hidrauličnog tlaka	- simboli za vrstu izvora		
11.1.1.2	- izvor pneumatičnog tlaka			
11.1.2	Elektromotor	- simbol 113 iz IEC publikacije 117.2		
11.1.3	Toplinski motor			

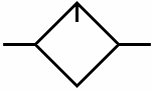
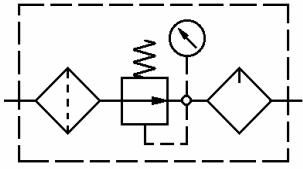



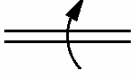
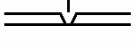
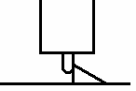

Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
11.2	Vodovi i spojevi		
11.2.1	Hidraulični i pneumatični vodovi		
11.2.1.1	- radni vod, povratni vod i napojni vod		
11.2.1.2	- upravljački vod		
11.2.1.3	- odvodni ili drenažni vod		
11.2.1.4	- savitljivi vod	- savitljivi cijevni vod za spajanje dijelova koji se gibaju	
11.2.1.5	- električni vod		
11.2.2	Spojeni cijevni vodovi		
11.2.3	Ukršteni cijevni vodovi	- nisu spojeni	
11.2.4	Odušak		
11.2.5	Ispusni otvor		
11.2.5.1	- bez priključka		
11.2.5.2	- s navojem za priključak		
11.2.6	Priključak za napajanje energijom	- na uređajima ili vodovima za napajanje energijom ili za mjerenje	
11.2.6.1	- s čepom		
11.2.6.2	- s vodom za napajanje		
11.2.7	Spojevi s brzim rastavljanjem		
11.2.7.1	- spojeni, bez nepovratnog ventila koji se mehanički otvara		
11.2.7.2	- spojeni, s nepovratnim ventilom koji se mehanički otvara		
11.2.7.3	- rastavljeni, s otvorenim otvorom na kraju		
11.2.7.4	- rastavljeni, sa zatvorenim otvorom na kraju, nepovratnim ventilom bez opruge (vidi 10.3.1.1)		


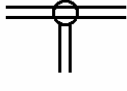
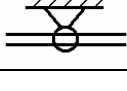
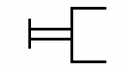
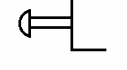


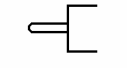
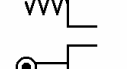
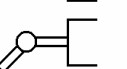
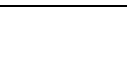
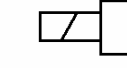
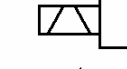

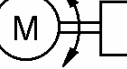
Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
11.2.8	Obrtni spoj	- spojni vod koji dopušta vrtnju za vrijeme rada	
11.2.8.1	- s jednim vodom		
11.2.8.2	- s tri voda		
11.2.9	Prigušivač šumova		
11.3	Spremnici (rezervoari)		
11.3.1	Spremnik, otvoren, spojen s atmosferom		
11.3.1.1	- s krajem cijevi iznad razine tekućine		
11.3.1.2	- s krajem cijevi ispod razine tekućine		
11.3.1.3	- s krajem cijevi ispod spremnika		
11.3.2	Spremnik pod tlakom		
11.4	Akumulatori	- fluid se drži pod tlakom uz pomoć opruga, utega ili plina (zrak, dušik i sl.)	
11.5	Prečistači, izdvajači vode, zauljivači i ostali uređaji		
11.5.1	Prečistač ili filter		
11.5.2	Izdvađač vode		
11.5.2.1	- s ručnim ispuštanjem		
11.5.2.2	- s automatskim ispuštanjem		
11.5.3	Prečistač s izdvajačem vode		
11.5.3.1	- s ručnim ispuštanjem	- kombinacija 11.5.1 i 11.5.2.1	
11.5.3.2	- s automatskim ispuštanjem	- kombinacija 11.5.1 i 11.5.2.2	
11.5.4	Sušač	- jedinica za sušenje zraka (npr. kemijskim sredstvima)	

Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
11.5.5	Zauljivač	- pri prolasku kroz zauljivač, zraku se dodaje mala količina ulja za podmazivanje drugih uređaja	
11.5.6	Pripremna skupina	- sastoji se od prečistača, ventila za reguliranje tlaka, manometra i zauljivača	
11.5.6.1		- detaljan simbol	
11.5.6.2		- jednostavan simbol	
11.6	Izmjenjivači topline	- uređaji za grijanje ili hlađenje fluida koji kroz njih protječe	
11.6.1	Regulator temperature	- temperatura fluida održava se između dvije prethodno utvrđene vrijednosti - strelice pokazuju mogućnost dovođenja ili odvođenja topline	
11.6.2	Hladnjak	- strelice pokazuju odvođenje topline	
11.6.2.1		- bez prikazivanja vodova za rashlađivanje	
11.6.2.2		- s prikazivanjem vodova za rashlađivanje	
11.6.3	Predgrijači	- strelice pokazuju dovođenje topline	
12	Aktiviranje		
12.1	Mehanički sastavni dijelovi		
12.1.1	Okretno vratilo		
12.1.1.1	- u jednom smjeru		
12.1.1.2	- u oba smjera		
12.1.2	Zaustavljač	- uređaj koji održava jedan zahtijevani položaj	
12.1.3	Brava	- simbol za otvaranje brave postavljen je u kvadratu	
12.1.4	Prebacivač	- sprečava npr. zaustavljanje klipa u središnjem položaju (mrtvoj točki)	



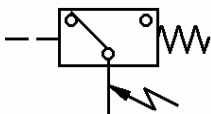
Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

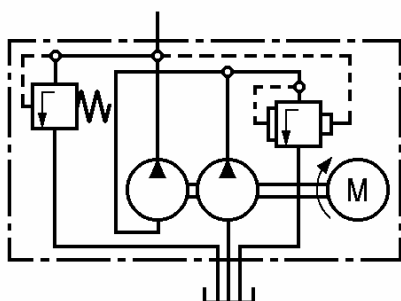
Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
12.1.5	Zglobni spojevi		
12.1.5.1	- jednostavan		
12.1.5.2	- s polugom sa strane		
12.1.5.3	- s krutom točkom vrtnje		
12.2	Način aktiviranja	- ovi simboli prikazuju načine aktiviranja vezane za simbole uređaja za upravljanje - za uređaje označene s više kvadrata aktivira se onaj kvadrat koji se nalazi neposredno uz uređaj za aktiviranje	
12.2.1	Ručno ili nožno aktiviranje	- opći simbol (bez oznake načina uključivanja)	
12.2.1.1	- ručnim pritiskom na gumb		
12.2.1.2	- ručno polugom		
12.2.1.3	- nožno pedalom		
12.2.2	Mehaničko aktiviranje		
12.2.2.1	- ticalom		
12.2.2.2	- oprugom		
12.2.2.3	- kotačićem		
12.2.2.4	- kotačićem, s djelovanjem samo u jednom smjeru		
12.2.3	Električno aktiviranje		
12.2.3.1	- elektromagnetom		
12.2.3.1.1	- s jednim namotajem		
12.2.3.1.2	- s dva namotaja		
12.2.3.1.3	- s dva namotaja suprotnog djelovanja promjenjive jačine		
12.2.3.2	- elektromotorom		

Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
12.2.4	Aktiviranje povišenjem ili sniženjem tlaka		
12.2.4.1	Aktiviranje izravnim djelovanjem		
12.2.4.1.1	- povišenjem tlaka		
12.2.4.1.2	- sniženjem tlaka		
12.2.4.1.3	- različitim površinama za upravljanje	- u simbolu veći četverokut predstavlja veću površinu za upravljanje, što znači prioritetsnu fazu	
12.2.4.2	Aktiviranje neizravnim djelovanjem s predupravljanjem	- opći simbol	
12.2.4.2.1	- povišenjem tlaka		
12.2.4.2.2	- sniženjem tlaka		
12.2.4.3	Unutarnji upravljački kanal	- upravljački kanali nalaze se unutar uređaja	
12.2.5	Kombinirano aktiviranje		
12.2.5.1	- elektromagnetom i razvodnikom s predupravljanjem	- razvodnik s predupravljanjem aktivira se elektromagnetom	
12.2.5.2	- elektromagnetom ili razvodnikom s predupravljanjem	- oba aktiviranja mogu neovisno djelovati	
12.3	Mehanička povratna veza	- mehanička veza pokretnog dijela uređaja za upravljanje s pokretnim dijelom uređaja s kojim se upravlja - upravljački uređaj (1), uređaj kojim se upravlja (2)	1) 2)
13	Dopunski uređaji		
13.1	Mjerni instrumenti		
13.1.1	Mjerenje tlaka		
13.1.1.1	- manometar	- priključak se može vezati za bilo koju točku na krugu	
13.1.2	Mjerenje temperature		
13.1.2.1	- termometar	- priključak se može vezati za bilo koju točku na krugu	

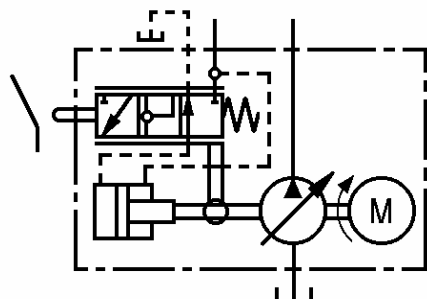
Tablica 11.10. Simboli u hidrauličnim i pneumatičnim instalacijama prema ISO 1219 (nastavak)

Redni broj	Naziv	Primjena uređaja i pojašnjenje simbola	Simbol
13.1.3	Mjerenje protoka		
13.1.3.1	- mjerač protoka		
13.1.3.2	- mjerač ukupnog protoka		
14	Ostali uređaji		
14.1	Tlačni električni prekidač		



Primjer 1

Pumpa s dva stupnja koju pogoni elektromotor s ventilom za ograničavanje tlaka u drugom stupnju i s ventilima za reguliranje omjera tlaka, koji održava tlak prvog stupnja, npr. na pola visine tlaka drugog stupnja.



Primjer 2

Pumpa podesivog radnog obujma s elektromotorom, koji se podešava servomotorom s diferencijalnim cilindrom i ventilom s ticalom, s dva prigušna ruba i mehaničkom povratnom vezom.

12. Literatura

References

- 1 Majger, N.: Umijeće crtanja, AC – August Cesarec, Zagreb, 1985.
- 2: Technische Rundschau, Nr. 48, Bern, 1983.
- 3: Poseban broj revije Naš dom – Porodična kuća, TOZD ČASOPISI VEČER, Maribor, 1983.
- 4: Nahverkehrs – Praxis, Nr. 3/1986
- 5 Pantelić, T.L.: Tehničko crtanje, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.
- 6 Kovač, B.: Tehničko crtanje – Priručnik za kovinsku struku, Školska knjiga, Zagreb, 1967.
- 7 Боголюбов, С.К.: Черчение, Машиностроение, Москва, 1985.
- 8 Бахнов, Ю.Н.: Сборник заданий по техническому черчению, Высшая школа, Москва, 1984.
- 9 Сомов, Ю.С.: Композиция в технике, Машиностроение, Москва, 1987.
- 10 Koludrović, Ć.: Tehničko crtanje u slici s osnovnim vježbama, Naučna knjiga, Beograd, 1985.
- 11 Boyer, E.T.; Meyers, F.D.; Croft, jr., F.M.; Miller, M.J.; Demel, J.T.: Technical Graphics, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
- 12 Böttcher/Forberg, P.: Technisches Zeichnen, B.G. Teubner Stuttgart ISBN 3-519-16725-5 & Beuth Berlin und Köln ISBN 3-410-12412-8, 1990.
- 13: Werkstatt und Betrieb, Heft 9, © Carl Hanser Verlag, München, 1984.
- 14 Thomas, T.A.: Technicall Illustration, McGraw-Hill, New York, 1968.
- 15: Computer Aided Design, Vol. 18, No. 10/1986
- 16: IP1 – Inženjerski priručnik, Školska knjiga ISBN 953-0-31662-3, Zagreb, 1996.
- 17 Lee, K.: Principles of CAD/CAM/CAE Systems, Addison Wesley Longman, Inc., ISBN 0-201-38036-6, Massachusetts – Mexico City, 1999.
- 18 Kljajin, M.: Tehničko crtanje, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 1991.
- 19 Bronštejn, I.N.; Semendjajev, K.A.: Matematički priručnik za inženjere i studente, Tehnička knjiga, Zagreb, 1964.
- 20: Naš dom, br.10, TOZD ČASOPISI VEČER, Maribor, 1977.
- 21: FESTO – 76 primjera iz prakse – elementi i sistemi za automatizaciju, FAO-321-YU-020-7608-Ma, Wien, 1976.
- 22 Deppert, W.; Stoll, K.: Pneumatsko upravljanje, RS “Moša Pijade”, Zagreb, 1976.
- 23 Koludrović, Ć.; Koludrović, I.; Koludrović, R.: Tehničko crtanje u slici – s kompjutorskim aplikacijama, Centar za dopisno obrazovanje, Birotehnika, Zagreb, 1994.
- 24 Horvatić-Baldasar, K.; Babić, I.: Nacrtna geometrija, SAND d.o.o., Zagreb, 1997.
- 25 Klaić, B.: Rječnik stranih riječi, Nakladni zavod Matice hrvatske, Zagreb,

- 1986.
- 26 Križan, B.: Osnove proračuna i oblikovanja konstrukcijskih elemenata, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 1998.
 - 27 Niemann, G.: Maschinenelemente, Band I: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen – Zweite Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1981.

Popis korisnih normi u tehničkom crtanju

List of Useful Norms in the Technical Drawing

U nastavku je dan popis korisnih ISO normi koje se odnose na tehničko crtanje i tehničke crteže u strojarstvu. Pregled ISO normi za neka druga područja mogu se vidjeti na Internet adresi <http://www.iso.ch/en/prods-services/>, odnosno službenom Internet portalu International Organisation for Standardisation.

Crteži u strojarstvu

Mechanical engineering drawings (01.100.20)

ISO 128-24:1999	Technical drawings, General principles of presentation Part 24: Lines on mechanical engineering drawings
ISO 128-25:1999	Technical drawings, General principles of presentation Part 25: Lines on shipbuilding drawings
ISO 128-34:2001	Technical drawings, General principles of presentation Part 34: Views on mechanical engineering drawings
ISO 128-44:2001	Technical drawings, General principles of presentation Part 44: Sections on mechanical engineering drawings
ISO 1101:1983	Technical drawings, Geometrical tolerancing - Tolerancing of form, orientation, location and run-out - Generalities, definitions, symbols, indications on drawings
ISO 1101:1983/Ext 1:1983	Toleranced characteristics and symbols - Examples of indication and interpretation
ISO 1302:2002	Geometrical Product Specifications (GPS) - Indication of surface texture in technical product documentation
ISO 1660:1987	Technical drawings - Dimensioning and tolerancing of profiles
ISO 2162-1:1993	Technical product documentation - Springs Part 1: Simplified representation
ISO 2162-2:1993	Technical product documentation - Springs Part 2: Presentation of data for cylindrical helical compression springs
ISO 2162-3:1993	Technical product documentation - Springs Part 3: Vocabulary
ISO 2203:1973	Technical drawings, Conventional representation of gears
ISO 2553:1992	Welded, brazed and soldered joints, Symbolic representation on drawings
ISO 2692:1988	Technical drawings, Geometrical tolerancing - Maximum material principle
ISO 2692:1988/Amd 1:1992	Least material requirement
ISO 3040:1990	Technical drawings, Dimensioning and tolerancing - Cones

Crteži u strojarstvu (nastavak)**Mechanical engineering drawings (01.100.20)**

ISO 5261:1995	Technical drawings, Simplified representation of bars and profile sections
ISO 5459:1981	Technical drawings, Geometrical tolerancing - Datums and datum-systems for geometrical tolerances
ISO/TR 5460:1985	Technical drawings, Geometrical tolerancing - Tolerancing of form, orientation, location and run-out - Verification principles and methods - Guidelines
ISO 5845-1:1995	Technical drawings, Simplified representation of the assembly of parts with fasteners, Part 1: General principles
ISO 5845-2:1995	Technical drawings, Simplified representation of the assembly of parts with fasteners, Part 2: Rivets for aerospace equipment
ISO 6410-1:1993	Technical drawings, Screw threads and threaded parts Part 1: General conventions
ISO 6410-2:1993	Technical drawings, Screw threads and threaded parts Part 2: Screw thread inserts
ISO 6410-3:1993	Technical drawings, Screw threads and threaded parts Part 3: Simplified representation
ISO 6411:1982	Technical drawings, Simplified representation of centre holes
ISO 6413:1988	Technical drawings, Representation of splines and serrations
ISO 7083:1983	Technical drawings, Symbols for geometrical tolerancing - Proportions and dimensions
ISO 8015:1985	Technical drawings, Fundamental tolerancing principle
ISO 8826-1:1989	Technical drawings, Rolling bearings Part 1: General simplified representation
ISO 8826-2:1994	Technical drawings, Rolling bearings Part 2: Detailed simplified representation
ISO 9222-1:1989	Technical drawings, Seals for dynamic application Part 1: General simplified representation
ISO 9222-2:1989	Technical drawings, Seals for dynamic application Part 2: Detailed simplified representation
ISO 10110-1:1996	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 1: General
ISO 10110-2:1996	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 2: Material imperfections - Stress birefringence
ISO 10110-3:1996	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 3: Material imperfections - Bubbles and inclusions

Crteži u strojarstvu (nastavak)

Mechanical engineering drawings (01.100.20)

ISO 10110-4:1997	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 4: Material imperfections - Inhomogeneity and striae
ISO 10110-5:1996 ISO 10110-5:1996/Cor 1:1996	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 5: Surface form tolerances
ISO 10110-6:1996 ISO 10110-6:1996/Cor 1:1999	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 6: Centring tolerances
ISO 10110-7:1996	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 7: Surface imperfection tolerances
ISO 10110-8:1997	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 8: Surface texture
ISO 10110-9:1996	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 9: Surface treatment and coating
ISO 10110-10:1996	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 10: Table representing data of a lens element
ISO 10110-11:1996	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 11: Non-toleranced data
ISO 10110-12:1997	Optics and optical instruments, Preparation of drawings for optical elements and systems, Part 12: Aspheric surfaces
ISO 10135:1994	Technical drawings, Simplified representation of moulded, cast and forged parts
ISO 10578:1992	Technical drawings, Tolerancing of orientation and location - Projected tolerance zone
ISO 10579:1993	Technical drawings, Dimensioning and tolerancing - Non-rigid parts
ISO 13715:2000	Technical drawings, Edges of undefined shape - Vocabulary and indications
ISO 14660-1:1999	Geometrical Product Specifications (GPS), Geometrical features Part 1: General terms and definitions
ISO 14660-2:1999	Geometrical Product Specifications (GPS), Geometrical features Part 2: Extracted median line of a cylinder and a cone, extracted median surface, local size of an extracted feature
ISO 15787:2001	Technical product documentation, Heat-treated ferrous parts - Presentation and indications

Neka pravila pisanja oznaka u tehnici i znanosti

Some of the Writing Rules of Characteristics in Technology and Science

U nastavku je dan pregled karakterističnih primjera pisanja oznaka i veličina u tehničkoj i znanstvenoj dokumentaciji prema normi DIN 1338.

Uspravno (normal) pišu se:

- brojevi napisani brojkama (npr. $1,53 \cdot 10^{-13}$, $1/2$, $8r$, a_4 , τ_{21} itd.),
- posebni brojevi (npr. Ludolfov broj π , osnova prirodnog logaritma e , imaginarna jedinica i itd.),
- matematičke oznake (npr. d , ∂ , Δ , \int , \lim , \sin , \cos , \tan , \log , \ln , \lg itd.),
- jedinice mjere (npr. mm, cm, m, N, kN, s, μF , W itd.),
- simboli kemijskih elemenata i spojeva (npr. Fe, Cu, H_2O , H_2SO_4 itd.),
- indeksi ako su samo dopunske oznake veličina (npr. α_1 - određeni kut, σ_{dop} - dopušteno naprezanje, F_{max} - najveća sila, v_{min} - najniža brzina itd.).

Koso ili kurziv (italic) pišu se:

- brojevi napisani slovima - varijable (npr. a , b , x , y , z , $\sqrt[n]{a}$, $\sum_{i=1}^n z_i$ itd.),
- svi simboli fizikalnih veličina (npr. m - masa, F - sila, M - moment, μ - faktor trenja, σ - normalno naprezanje itd.),
- matematičke oznake funkcija (npr. $f_{(x)}$, $\varphi_{(x)}$, $K_{(y)} = y'' + a_1 y' + a_0 y$ itd.),
- indeksi ako označavaju slovima napisane brojčane veličine ili varijable (npr. k_n za $n=1, 2, 3 \dots$, σ_y - naprezanje u smjeru osi y , V_{p1T1} - obujam pri tlaku p_1 i temperaturi T_1 itd.).

Kazalo pojmova

Index

A

aksonometrija 163
 - dimetrija 165
 - frontalna (kavalir) 164
 - izometrija 165, 168
 - kosa 164
 - ortogonalna 164, 168
 - trimetrija 165
 aksonometrijska projekcija 163
 anuloid 231, 232, 233, 234
 analiza projekcija 179
 apotema 126
 aritmetički niz 32
 asimptota 143
 AutoCAD 298, 369

B

bijela knjiga 25
 bokocrt 180, 188
 brisanje 285, 327, 375
 broj
 - kotni 349
 - normni 31
 - projekcija 192, 193
 - redni 32

C

CAD 5, 7
 CAM 5
 CEN 24
 CENELEC 24
 centralna projekcija 154
 certifikacija 22
 cijevni prijelaz 275
 cijevno koljeno 271
 cijevni ogranak 273
 cikličke krivulje 143

- cikloida 145
 - epicikloida 145, 146
 - evolventa kružnice 144
 - hipocikloida 146, 147
 - ortocikloida 145
 cilindrična
 - opruga 379, 380, 381
 - ploha 153, 154
 - tijela 106
 cilindričnost 83, 85
 crta
 - loma 224
 - crtkana 312, 313, 315
 - duga crtkano-točkasta 313, 315
 - duga crtkano-dvostruko-točkasta 313
 - neprekidna 312, 315
 - točkasta 313
 crtač (ploter) 298
 crtaća
 - daska 285, 286, 287, 288
 - glava 298
 - papir 286, 293
 - stol 288
 crtanje
 - geometrijskih kontura 111
 - jednakokračnog trokuta 119
 - krivulja 132
 - krivuljarom 134, 293
 - kružnice 114
 - kvadrata 119
 - okomice 111, 112
 - okomice na pravac 111
 - olovkom 13, 14
 - paralelnog pravca 112
 - pravca 112
 - pravilnog mnogokuta 120, 121, 122, 124, 125, 126
 - pribor 285, 288, 289

- podržano računalom 297, 298, 369
- tangenata na kružnicu 117, 118,
- tehničko 285
- trokuta 119
- tušem 13
- u tušu 293, 295
- zajedničke tangente 118
- zaobljenja 127

crte

- lomne 315
- primjena 311, 314, 316, 317, 318
- prijelaza 240
- prodora 240
- širine 313, 316
- vrste 311, 312, 313, 315
- značenje 328

crtež

- detaljni (radionički, izvedbeni) 13
- format 299
- okvir 300, 301
- olovkom 14
- organizacija 299
- podjela 13
- ponudbeni 13
- previjanje 303, 304
- projektni 13
- prostoručni 14
- reklamni 13, 18
- u olovci 14
- u tušu 14
- vrste 12, 13

Č

čelnik 382, 383,

četverokut 227

četverostrana

- piramida 246, 257, 259
- prizma 246

D

daska

- crtaća 285, 285, 287, 288

deseterokut 125

detalj 220, 221

detaljni crtež 13

dimenzije (izmjere)

- crteža 300
- formata papira 299, 300
- funkcijske 347
- glavne 173
- nefunkcijske 347
- pomoćne 347
- tehničkog pisma 321

dimenzioniranje 377

dimetrija 165

dimetrijska projekcija 164, 165

direktrise (ravnalice) 144

dispozicija 13

djelomični presjek 198, 205, 206

djelomična projekcija 220

dosjed 39, 43, 61

- izbor 64
- labavi 65, 66
- označavanje 62
- pregled 62
- prijelazni (neizvjesni) 67
- prisni (čvrsti) 68
- vrste 62

dosjedni sustav

- provrta 61
- rukavca 62

držanje

- olovke 293, 324, 325
- šestara 291

dvanaesterokut 125

dubina

- udubine profila 96
- rupe 363, 364

duljina

- podjela 116, 117
- referentna 95
- uzorka 95
- vrednovanja 95
- savijenih strojnih dijelova 223

DZNM 25

- glasilo 25

E

- elipsa 135, 136, 137, 138, 139, 341
- dimetrijska projekcija 166
 - frontalna (kavalir) projekcija 166
 - izometrijska projekcija 166
 - kosa projekcija 166
 - trimetrijska projekcija 166
- ekvidistantne
- crte 82
 - elipse 345, 346
 - ravnine 82
- evolventa kružnice 144

F

- faze
- pri skiciranju 333, 338
 - pri crtanju izometrije 341
- formati
- papira 299, 300
 - crteža 300
 - previjanje 303, 304
 - orijentacija 302

G

- generatrisa (izvodnica) 144
- geometrijske tolerancije 82
- geometrijski niz 34
- glasilo DZNM 25
- glava
- motke 231, 233
 - ojnice 233, 234
 - vijka 227
- glavne dimenzije 173
- glavne ravnine crtanja 180
- gornje odstupanje 41
- gornji nedogled 159
- gornji tlocrt 180
- grafos-pera 319
- granična izmjera 39, 40

- granična mjerila 79
- granica presjeka 312
- gumica za brisanje 285, 295, 327

H

- hiperbola 135, 142, 143, 230, 235, 248, 294
- hrapavost 39, 95, 101
- tehničkih površina 93
 - površinska 94
 - profil 94
 - označavanje 98, 100
 - primjeri označavanja 103, 104, 106
 - simboli 99
 - stupanj 101, 110
 - veličina 93, 109
- HRN 22, 23, 26, 27
- katalog 25

I

- IEC 19, 21, 24
- ISO 19, 21, 24
- ISO-sustav 44, 49, 62, 64, 73, 77, 78
- iščezavajuća točka 156, 157
- izbor
- dosjeda 64, 67
 - projekcija 192
 - stupnja temeljne tolerancije 46
 - tolerancija 64
 - tolerancijskih polja 55, 56, 68, 69,
- izmjera 40, 347
- dijametralna 360
 - funkcijska 347
 - granična 39, 40
 - kompenzacijska 60
 - lanac 60
 - najveća, najmanja 40
 - nazivna 40, 43, 44, 45, 46, 47
 - nefunkcijska 347
 - nominalna 40
 - pomoćna 347

- slobodna 56, 57, 58, 59
 - smještaj vrijednosti 352
 - stvarna 40, 41, 42, 48, 49, 73, 74, 75, 76, 77
 - točna 83, 353
 - tolerancijska 41, 43, 62
 - unutarnja 43, 47, 72
 - vanjska 43, 47, 72
 - zavisna 60
- izometrija 165
- izometrijska projekcija 164, 165, 166
- izvlačenje
- crta pri skiciranju 13
 - crta pri tuširanju 294
 - krivulja 294
 - kružnica 290

J

jednakokračni

- trokut 119

jedinstveni

- provrt 61, 62
- rukavac 62

K

kocka 158, 164, 165, 166, 187, 196

- plašt 255

konus 226, 229, 364, 367

- jedinični 366
- kotiranje 364, 365
- kut 366
- Morseov 367, 368

kontura 153, 240, 245

- brijega 118, 131, 132
- crtanje 111, 128
- geometrijske 111
- strojarske 111

kosa

- aksonometrija 163, 164
- projekcija 155, 156, 163, 164, 166

kotiranje

- dimenzija 347

- elementi 349
 - funkcijsko 348, 349
 - izmjera 347
 - jednakih razmaka 358, 359
 - kombinirano 357
 - koničnog suženja 365
 - konusa 364, 365, 366, 367
 - kutova 352, 353, 358
 - lančano 355
 - luka 358
 - načini 355
 - nadređeno slijedno 356
 - nagiba 364, 366, 367
 - neizravno funkcijsko 348
 - od zajedničke osnove 355
 - opća načela 347
 - oznaka početka 350, 351
 - oznaka završetka 350, 351
 - paralelno 355
 - polumjera 358, 351, 352
 - pomoću koordinata 356
 - ponovljenih značajki 360
 - posebnih zahtjeva 362
 - pravila 348
 - promjera 354, 356, 359, 363
 - rupa 363
 - sklopnih crteža 362
 - skošenih rubova 360, 361
 - suženja 364
 - tetive 358
 - upuštenih rubova 360, 361
 - utora 363, 367
- kotna crta 349
- kotni broj 349
- kotir-pero 294
- krivuljari 134, 287, 294
- kružnica
- crtanje 114, 115
 - rektifikacija 115
 - uravnjivanje 115
- kuka 208
- kutovi
- podjela 113
 - konstruiranje 113

kutomjer 294

kvadrant

- prvi 173, 174, 188, 189
- treći 188, 190

kvadrat 119, 120

L

labavost 65

lanac izmjera 60

lančani prijenos 384

lećasta glava 228

M

materijal

- označavanje šrafurom 210, 327, 376
- krojenje 223

matica

- crtanje 214
- šesterokuta 252

metoda

- projiciranja 1. kvadranta 188, 189
- projiciranja 3. kvadranta 188, 190

mjerilo 310, 371

- razmjernik 285, 291, 292
- pomično 285

mjerna skica 13

mjerni lanci 60, 61

mjernica 349, 350

- kose 352
- polumjera 358
- završeci 349, 350, 351

mnogokut 120, 126

mreža (razvijeni plašt)

- cijevi cijevnog koljena 268
- kocke 255
- kugle 264, 265, 266
- kvadra (paralelopipeda) 256, 258
- parnog doma na parnom kotlu 272
- piramide 257, 259, 260, 281
- prizme 255, 256, 258, 259
- rašlje 282, 283, 284

- stošca 261, 262, 263, 276, 278, 282
- stožastog suženja 279, 280
- valjka 260, 261, 267
- za skiciranje 327
- za crtanje perspektive 159
- koordinatna 370, 373

N

nacrt 173, 180, 181, 188

nacrtna geometrija 153

nagib 364

navoj

- u izometriji 345, 346
- unutarnji 220
- vanjski 214

nazivlje 25

nepravilan smještaj projekcija 218

norma 19, 22

- međunarodna 22
- nacionalna 24
- regionalna 23

normizacija 19

- razvoj 19
- tehnička 20
- selektivna 21
- sustavna 21
- nacionalna 22, 24
- europska 22
- međunarodna 22
- u Republici Hrvatskoj 24
- preporuke 26
- pojmovi 19
- u strojarstvu 29
- zakon 24, 25
- značenje 19

normni brojevi 31, 32

- temeljni nizovi 32
- izvanredni niz 33
- izvedeni nizovi 33
- uporaba 35

novi pristup 25

nul-crta 40

numerički upravljani pisači 297

O

odnos između tolerancije i hrapavosti 108, 109

odstupanje 40

- izmjere 40, 41, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 61, 62, 77
- donje 41
- gornje 41
- srednje aritmetičko 97
- srednje kvadratno 98
- temeljno 41

olovke 285, 292

- držanje 290, 293, 324, 325
- pravilna zašiljenost 292

opruge 379, 380, 381

ordinala 173, 181, 238, 241, 246, 251, 252

okvir

- crteža 300, 301, 302
- oko dimenzija 353, 354

oris 153

ortogonalna projekcija 168, 252

os simetrije 185

- prostorna 185
- ravninska 185

osmerokut 124

oval (Cassinijev) 132

ovoid 133

označavanje

- detalja 221
- dosjeda 62
- hrapavosti 98, 100
- pogleda (posebnog smještaja projekcije) 217, 218
- presjeka 209
- ravnih ploha 226
- tolerancija 77, 78, 80
- tolerancijskih polja 47
- zavara 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391

P

papir

- formati 299
- pričvršćivanje 286
- vrste 293

parabola 139

patentni crtež 13

pero, pera

- grafos- 319
- kotir- 319
- za crtanje 294
- za pisanje 294, 295
- redis- 319

perspektiva 154, 156, 157, 158, 159, 161, 162

peterokut 120, 121

pismo

- tehničko 12, 285, 287, 319, 320, 321, 322

plašt

- cijevi cijevnog koljena 268
- kocke 255
- kugle 264, 265, 266
- kvadra (paralelopipeda) 256, 258
- parnog doma na parnom kotlu 272
- piramide 257, 259, 260, 281
- prizme 255, 256, 258, 259
- rašlje 282, 283, 284
- stošca 261, 262, 263, 276, 278, 282
- stožastog suženja 279, 280
- valjka 260, 261, 267

ploha

- cilindrična (valjkasta) 153, 238
- konična (stožasta) 153, 235
- ravna 153
- sferična (kuglasta) 153, 239
- zavojna 153

ploter 298

pojednostavnjenja 227, 379

pokazna crta 105, 349

pomoćna mjerna crta 349, 350

ponudbeni crtež 13

pravila

- za crtanje presjeka 212
- za primjenu kotiranja 347, 348
- prakse 22

pravilne krivulje 132

- oval (Cassinijev) 132
- ovoid 133

prekidi (crte loma) 224

presječna ravnina 199, 203, 205, 207, 209, 212, 214, 216

presjek, presjeci 197, 229

- crtanje 197
- djelomični 197, 205, 206, 212, 214, 220, 226
- elipsa 229
- hiperbola 230
- izlomljeni 204, 205
- jednom ravninom 198, 199, 202
- kosi 201, 202
- kružnica 229
- normalni 207, 208, 209, 220
- normiziranih dijelova 214, 215, 216
- okomiti 200
- označavanje 209
- parabola 229
- polovični 197
- pravila 212
- profila i limova 210, 211, 213
- puni 197
- s više ravnina 199, 201
- stepenasti 203
- zaokrenuti 206, 207, 208, 209

previjanje crteža 303, 304

pribor

- za izvlačenje u tušu 285, 289
- za skiciranje 326, 327
- za tehničko crtanje 288, 289

prijelaz 240

- prijelaz tijela 234

prijelazna crta 240

prijelazni (neizvjesni) dosjed 67

priložnik 285, 286, 287, 288, 289, 290

primjena

- HRN 27

- normnih brojeva 35

- nizova normnih brojeva 35

- olovke za crtanje 292

prisnost 43, 45, 61, 62, 65, 68, 69, 71, 72

prodori 227, 228, 229, 236

- crtanje 240
- crta prodora 240, 241, 244, 247
- dvaju stožaca 245
- dvaju valjaka 242, 243, 245, 250
- dvije prizme 246, 247
- mali 228
- piramide i prizme 247, 248
- pravca i sfere (kugle) 239
- pravca i piramide 237
- pravca i stošca 238
- pravca i valjka 238
- prizme i stošca 241
- prizme i valjka 242
- valjka i prizme 250
- valjka i kugle 251
- valjka i stošca 245, 249
- valjka i dijela torusa 252
- tri valjka 244

produženi format 302

profil

- hrapavosti 94
- površine 94
- primarni 94
- srednja crta
- valovitosti 94

profilni filter 94

projiciranje kosih ploha 192, 218

projekcija 153

- analiza 179
- bokocrt 173, 180, 181, 188
- broj 192
- djelomična 220
- izbor 192
- kosa 155
- nacrt 173, 180, 181, 188
- nazivi 179
- ortogonalna (normalna) 155

- paralelna 155
- podudaranje 181
- posebna pravila 217
- pravila 153
- pravokutna 169
- raspored na crtežu 181
- središnja (centralna) 154
- tlocrt 173, 180, 181, 188
- zaokrenuta 221

projektirni crtež 13

projiciranje

- aksonometrijsko 155
- klinogonarno 155
- koso 155
- metode 188
- normalno 155
- ortogonalno 155
- središnje (centralno) 154

propis 22

- tehnički 22
- ISO 25

prostorna

- os simetrije 185
- predodžba 11, 13

provrt 39, 41, 42, 43, 44, 47, 48, 49, 52, 53, 55, 56, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 87, 88, 89, 90, 91, 228, 358, 359, 360, 361, 364, 367, 368

prozirni papir 14

pužno kolo 382, 383, 384

pužni par 383, 384

puž, pužni vijak 383, 384

R

računalo 287

računalom

- podržano crtanje 5, 10, 11, 14, 297
- podržan sustav za crtanje 369
- upravljan crtač (ploter) 298

radionički crtež 13

raspored projekcija na crtežu 181

rastavljanje predmeta 195

rašlje 282, 283, 284

ravna ploha

- označavanje 226

ravnina

- crtanja 170, 172, 181, 188
- projekcija 172, 180, 183

ravnina simetrije 185

ravninska os simetrije 185

razred

- tolerancijski 43
- dopunskih jedinica u SI-sustavu 26

razvijeni lim 254

redis-pera 319

referentna

- duljina 95
- crta 90, 105, 106, 355
- os 89
- temperatura 40
- značajka 357

rektifikacija kružnice 115

Renard 31

rukavac 39, 41, 43, 47, 62, 64, 68, 69, 76, 77, 78, 220

S

sastavnice 305

- odvojene (zasebne) 308, 309
- smještaj 302, 305
- za radioničke crteže 305, 308
- za sklopne crteže 308, 310
- za školske potrebe 306, 307

sastavni crtež 13

sedmerokut 122, 123

shematska predodžba 13

SI

- upute 26
- međunarodni sustav jedinica 26

simboli 384

- hidrauličnih sustav 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400,

401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408

- pneumatičnih sustava 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408
- zavarenih spojeva 385, 386, 387, 388, 389, 390

simetrala 185

simetričnost 185

situacijski crtež 13

skica 7, 9, 13, 166, 167, 323, 324, 326, 327, 328, 333,

skiciranje 323, 324, 328

- češće rabljenih elemenata 344, 345, 346
- faze 332, 333, 341
- geometrijskih tijela 331
- kosih crta 325
- malih objekata 330
- mreže 327
- navoja 344, 345
- nepravilnih krivulja 326
- pribor 326
- prostornih crteža 341
- šesterostrane matice 344, 345
- vodoravnih crta 324
- uspravnih crta 325
- utora i provrta 344, 345
- zakrivljenih crta 325

sklop 13, 183, 211, 362

slobodne izmjere 56

spajanje

- ekscentričnih kružnica 131
- kružnih lukova 129, 130

spirale 147, 148, 149

središnjica 107, 184, 185, 203

središte 185

srednje

- aritmetičko odstupanje 97
- kvadratno odstupanje 98

središnja (centralna) projekcija 154

standard (norma) 19, 22

standardizacija (normizacija) 19

stanje površine 106, 107, 108

stožnik 382, 383

stranocrt 239

stranocrtna ravnina 183

strelice 209, 218, 350, 351, 355

stupanj temeljne tolerancije 46, 47, 53, 77

stvarna izmjera 40, 41, 42, 48, 49, 73, 74, 75, 76, 77

sustav stupnjevanja 31

suženje 366, 367

- konično 364

Š

šablona

- za pisanje 295
- za crtanje 296

šestar 285, 290, 294

- postupak crtanja 14, 291, 323
- nul- 291
- ubodni 291

šesterokut 121, 122

šesterokuta matica 252

- u izometriji 344, 345

šifriranje 20

šrafura

- susjednih dijelova 210
- uskih površina 210, 211
- vrste 210, 211, 212

šrafiranje 213, 376

T

Tal, Tales 159

tangenta

- na dvije kružnice 118
- na kružnicu 115, 117

tanjuraste opruge 380

tehnička specifikacija 22

tehnički

- propis 22
- uvjet 22

tehničko pismo 12, 285, 287, 319, 320, 321, 322
 tehnološki proces 41
 temeljni oblici 193
 temeljno odstupanje izmjere 41, 50, 51, 52, 53
 tiskač (printer) 298
 tlocrt 173, 180, 181, 188
 tolerancija 39

- duljinskih izmjera 39, 44
- dosjedna 43
- cilindričnosti 85
- temeljna 43, 45, 46
- izbor 46, 64
- koncentričnosti i koaksijalnosti 90
- kružnosti 85
- kružnosti vrtnje 91
- kuta (nagiba) 89
- položaja (pozicije) 89
- oblika crte 86
- oblika plohe 86
- okomitosti 88
- paralelnosti 86
- pravocrtности 84
- označavanje 47
- primjena 44
- ravnosti 85
- ravnosti i kružnosti vrtnje 92
- simetričnosti 91
- slobodnih izmjera 56, 57, 59
- složene 60

 tolerancijska

- izmjera 41, 43
- koeficijent 44
- polja 48

 toplinsko rastezanje

- koeficijent 80, 81

 transparentni papir 293, 304
 trigonometrijske krivulje 149

- kosinusoida 149, 150
- sinusoida 149

 trokut 290, 294
 tuš 293
 tuširanje 294

tuš-bočice (patrone) 294
 tvrdi crtači papir 295

U

učestalost

- dosjeda 65, 66, 67, 68, 73
- izmjera 41
- stvarnih izmjera 41, 42, 72, 74, 76

 udubljenja 128
 ugradbeni crtež 13
 umanjenje

- mjerilo 310
- uz pomoć mreže 328

 unifikacija 20
 utori

- u izometriji 341, 344, 345

 uvećanje

- mjerilo 310
- uz pomoć mreže 328

V

veličine formata 299, 300
 visina

- izbočine profila 96
- mjerenog profila 95
- elementa profila 96
- izbočine profila, maksimalna 96
- profila, maksimalna 96
- elementa profila, srednja 96
- profila, ukupna 97

 vrijednost ordinate 95
 vrste

- crteža 12, 13
- papira 293
- crta 311, 312, 313, 315

Z

zaglavlje 305, 306
 zakretanje ravnina 172, 180

- u ravninu crtanja 172, 180

 zakrivljena crta 375

zaobljenje 127
zaobljavanje 375
zarubljivanje 375
zaokrenuta projekcija 221
zaokrenuti presjek 206, 207, 208, 209
zaokružiti 45
zavareni spojevi 384, 385, 386, 387,
388, 389, 390, 391

značajka 348
zupčanik
- čelnik s ravnim zubima 382, 383
- čelnik s kosim zubima 382
- čelnik sa strelastim zubima 382,
383
- stožnik 382, 383
zračnost (zazor) 43